

ERGO

••



*Robin Engelhardt & Hans Siggaard Jensen*

# ERGO

---

NATURVIDENSKABENS  
FILOSOFISKE HISTORIE

---



## **ERGO – NATURVIDENSKABENS FILOSOFISKE HISTORIE**

Skrevet af Robin Engelhardt og Hans Siggaard Jensen

**FORLAGSREDAKTØR:**

Jonas Holm Hansen

**BILLEDREDAKTION:**

Robin Engelhardt og Jonas Holm Hansen

**UDGIVER:**

Lindhardt og Ringhof

**GRAFISK TILRETTELÆGGELSE:** Pamperin · Grafisk. Bogen er sat med Janson Text

**OMSLAG:**

Harvey Macaulay/Imperiet. Illustration af Viktor Koen

**ILLUSTRATIONER:**

Per Diemer (side 30, 33, 37, 43, 45, 57, 62, 72, 87, 105, 106, 126, 132, 138, 144, 178, 186, 193, 227, 229, 230, 231, 237, 238, 241, 243, 244, 250, 251, 271, 281, 284, 296 og 351)

**TRYKT HOS:**

Nørhaven Book A/S · Printed in Denmark 2007

1. udgave, 1. oplag

**COPYRIGHT:**

© Robin Engelhardt og Hans Siggaard Jensen 2007

**ISBN:**

978-87-595-2866-2

For enkelte fotografier og illustrationer har det desværre ikke været muligt at opspore ophavsmanden. Eventuelle krænkelser af Loven om retten til fotografiske billeder er imidlertid utilsigtet, og retmæssige krav i forbindelse hermed vil blive honoreret, som havde der foreligget en forhåndsgodkendelse.

Konsul George Jorck og hustru Emma Jorck's Fond og Lademanns Fond har støttet denne udgivelse.

•• er symbolet for det latinske "ergo" (*derfor eller altså*). Inden for matematikken blev det første gang brugt af Johann Rahns i bogen *Teutsche Algebra* fra 1659. Tidligere har symbolet bl.a. været benyttet inden for alkymien.

# Indhold

Forord . . . . .	9
Indledning . . . . .	11
<b>1 De første teorier om verden . . . . .</b>	<b>17</b>
• Verden kan forstås 21	
• Sansernes og forstandens tvivlsomme brugbarhed 25	
• Atomer og det tomme rum 30	
• De platoniske sfærer 33	
• Aristoteles og de athenske akademier 34	
• Passer og lineal 38	
• Heureka for tankeeksperimentets sejr 42	
• Jorden placeres i centrum 43	
• Den antikke lægekunst 47	
• Teori og praksis 50	
<b>2 Katekismus og kulturudveksling . . . . .</b>	<b>55</b>
• Håndværkerglæde og opdagertrang 57	
• Etableringen af universiteterne 59	
• Det arabiske talsystem 67	
• Overtro som katalysator for indsigt 70	
• Teknologiske fremskridt i skrift og bogtryk 74	
<b>3 Videnskabsmandens og humanistens fødsel . . . . .</b>	<b>77</b>
• Det skabende menneske 78	
• Det dobbelte bogholderi og centralperspektivet 83	
• Den videnskabelige revolution – opgøret med Aristoteles 88	
• Kortlægningen af den ydre og indre verden 90	
• Lad kendsgerningerne tale 96	
• Naturlove som norm 102	
• En mekanisk og deterministisk verdensorden 106	
• Om at erkende verden – den moderne filosofi 111	
• Formler for det uendelige og det tilfældige 117	

<b>4</b>	Samfundsinstitutionen bygges op . . . . .	125
	• Mécanique Analytique 128	
	• Hume og Kant 134	
	• Revolution! 139	
	• Romantisk videnskab 143	
	• Geniet på arbejde 147	
	• Arbejdsdeling og teknisk rationalitet 150	
	• Kritik af aprioriet 160	
	• Mekanisk manipulerbar materie 164	
	• Victorianisme og positivisme i videnskab og teknologi 168	
<b>5</b>	Etableringen af de videnskabelige discipliner . . . . .	173
	• Den levende kraft – energi og varme 174	
	• Lad der blive lys 180	
	• Alting i udvikling 184	
	• Lægen og sæben 191	
	• Introspektion 199	
	• Hvad er et tal? 209	
	• Den sproglige vending i filosofien 216	
	• Forskningsmetode 220	
<b>6</b>	Drømmen om enhed . . . . .	225
	• Året 1905 228	
	• En omvending af alle begreber og forestillinger 234	
	• Vores plads i kosmos 237	
	• Atomets struktur 242	
	• Usikkerhedsprincippet 246	
	• Komplementaritet fra København 248	
	• Atomare fristelser 251	
	• Disintegration eller enhed? 253	
	• Eksotiske tilstænde 255	

<b>7</b>	I selverkendelsens lys . . . . .	259
	• Formaliseringens grænser i matematik og logik 261	
	• Gödels bevis 268	
	• Turing og den universelle maskine 270	
	• Informationsbegrebet 274	
	• Beregningens grænser 282	
	• Universet som laptop 284	
	• Kaos og ikke-lineære erkendelser 287	
	• Naturens fraktale geometri 289	
	• Den statistiske vending 293	
	• Fuzzy tænkning 295	
	• Betingede sandheder 297	
<b>8</b>	Kulturens videnskabeliggørelse . . . . .	301
	• Arbejdsdeling og masseproduktion 303	
	• Moderne tider 308	
	• Videnskaben forsøges forstået 317	
	• Videnskabsfilosofi som ny disciplin 319	
	• Hvad står øverst – fysik eller metafysik? 325	
	• Falsifikation og paradigmer 329	
	• Socialkonstruktivism 333	
	• Statistisk signifikans – et lærestykke 338	
<b>9</b>	Det evolutionære verdenssyn . . . . .	343
	• Det eugeniske program 344	
	• Den moderne syntese 349	
	• Økologi og bioteknologi 352	
	• Darwins mange små børn 355	
	• Out of Africa 359	
	• Livets oprindelse 364	
	• Fra designargumenter til selvorganisering 369	

• Teorier om spil, spas og samarbejde	372
• Evolutionær psykologi	377
<b>10 Netværksvidenskab . . . . .</b>	<b>381</b>
• Økosystemers kompleksitet	382
• Selvorganiserende kritiske netværk	387
• Verden kan fortælles	389
• Netværk i kroppen	392
• Netværk i hovedet	394
• Bevidsthedens landskaber	398
• AI, AL og kunstige neurale netværk	402
• Den digitale overtagelse	405
• Små verdener	412
• Rumskibet Jorden	415
<b>Litteratur . . . . .</b>	<b>420</b>
<b>Indeks . . . . .</b>	<b>426</b>

# Forord

**D**er er megen diskussion af naturvidenskabens stilling i uddannelsessystemet, men ikke af dens betydning for samfundet. Der ønskes fra mange sider større interesse og forståelse for området. I denne bog vil vi forsøge at formidle en historisk og begrebsorienteret fremstilling af naturvidenskabens udvikling og dermed give vores bidrag til en øget forståelse af dens samfundsmæssige, kulturelle og intellektuelle stilling.

Spiren til bogen var et ønske om at skabe en slags naturvidenskabelig pendant til Lund, Pihl og Sløks klassiske *De europæiske ideers historie*, den bog, der først og fremmest introducerede idehistorie i det danske gymnasium i forbindelse med 1960'ernes gymnasierform. Denne reform betød i øvrigt en kraftig styrkelse af naturvidenskaberne i gymnasiet med baggrund i en politisk vilje til højnelse af niveauet. Hans Siggaard Jensen skrev et udkast, der danner bogens hovedstamme i form af kapitel 1 til 6 samt kapitel 8. Robin Engelhardt har suppleret dette materiale op, særligt i kapitel 1 og 6, skrevet kapitel 7, 9 og 10 samt gennemskrevet hele bogen og stået for den overordnede strukturering.

Vi har lagt særlig vægt på at skabe et levende forhold mellem tekst og illustration og på at vise en bred vifte af forskellige repræsentationsformer. Der vil derfor både forekomme illustrationer, der er samtidige med den behandlede periode, og nutidige, der på afstand belyser de relevante problemstillinger. Her har der været et tæt samarbejde mellem Robin Engelhardt og forlagsredaktør Jonas Holm Hansen. Vi vil derudover gerne takke Frederik Stjernfelt, Benny Lautrup og Morten Kringelbach for gennemlæsning af kapitler samt Sune de Souza Schmidt-Madsen for hjælp ved billedsøgningen. Og ikke mindst: tak til de fonde, der har støttet udgivelsen.

De fejl og mangler, der stadig måtte være, bærer vi alene ansvaret for – vi lover at udbedre dem i en eventuel 2. udgave.

*København, oktober 2007*  
Robin Engelhardt, Hans Siggaard Jensen



# Indledning

**V**idenskaben og filosofien. Det er her, de store spørgsmål stilles. Forsøger de at forklare virkeligheden, eller vil de påtvinge os deres eget verdenssyn? Kan de virkelig sige noget sandt, eller erstatter de blot de gamle historier med nogle nye? Har videnskaben en privilegeret tilgang til indsigt, eller tager den blot æren for at stille spørgsmålene og lade kendsgerningerne tale? Og hvordan er det med disse såkaldte kendsgerninger, disse fakta og eksperimentelle observationer, som naturvidenskaben sætter sin lid til? Er naturvidenskabelige eksperimenter så entydige, som det ofte påstås? Er de de rette midler til at efterprøve en tanke, til at teste en teori, til at løse et problem? Eller er de en karikatur af alt for komplicerede ting, som med latinske fremmedord foregøller os en aura af forståelse?

ERGO er en bog, der handler om disse og mange andre spørgsmål i den vestlige naturvidenskabs historie. Titlen peger på den dømmekraft, dette modige *ergo* – eller på dansk *derfor* – der på trods af alle tvivl og usikkerheder er så nødvendigt for, at vi kan drage konklusioner om verden, gøre den forståelig og håndgribeligt for hinanden. Bogen følger fornuftens veje og biveje. Med basis i erfaringer, observationer, eksperimenter og refleksioner efterspores dømmekraftens evne til at frembringe konklusioner og handlingsanvisninger. Vi håber, at bogen kan bidrage til at udvikle og forfine denne helt nødvendige evne.

Siden den videnskabelige revolution har marginaliseret religionen i vores kultur – om end der kan iagttagtes periodevisे tilbageslag – har naturvidenskaben nydt en privilegeret status, blandt andet på grund af dens store udsigelseskraft og betydelige succes i den praktiske hverdag. Men hvad der burde gælde for alle revolutioner, gælder også for naturvidenskaben: hvis den ikke er i stand til at efterprøve sit eget filosofiske ståsted og sætte sig selv på spil, fortjener den ikke sit navn. Derfor er denne bog ikke blot en historie om vestens naturvidenskabelige opdagelser og erkendelser, siden vi i Europa lærte at tælle og skrive. Det er en bog, som også fortæller historien om de skjulte filosofiske kampe og metodiske bryderier, som videnskabsmænd og -kvinder har måttet gå igennem for at sikre, forklare og forsvare deres nyvundne erkendelser.

ERGO er derfor en meta-bog. En bog, der forsøger at forstå forståelsen og repræsentere repræsentationen. Den forsøger at leve sig ind i hovedet på disse forskere for at fange deres oprindelige motivation og genopleve deres argument. Det hævdes f.eks. ofte, at Albert Einstein kom frem til relativitetsteorien, fordi han analyserede begrebet "samtidighed". Han ville undersøge, hvordan man egentlig kunne give dette begreb empirisk mening uafhængigt af en observatør. Det hævdes også, at han meget gerne ville forstå verden som en objektivt eksisterende ting, der kunne erkendes af os mennesker. Han havde mange og seje diskussioner med Niels Bohr, der hele tiden forbavseses over, hvor kompleks vores situation som erkendende væsener egentlig er. For denne bogs læser – ligesom for Einstein og for Bohr – er naturvidenskab ikke kun en spændende aktivitet, som man udøver i laboratorier ogude i naturen, men også en aktivitet, der kræver refleksion, hvor vi selv og selve erkendelsens praksis indgår i analysen.

ERGO diskuterer og fremlægger argumenter, kritikker og tankeeksperimenter. Den er en bog, der bevæger sig i spændingsfeltet mellem en begrebsmæssig behandling af vores forsøg på at forstå vores verden og en mere konkret demonstration af vore repræsentationer af denne verden. Derfor er ERGO en bog med megen tekst og en del billeder – og de to skal hele tiden ses i samspil. ERGO fremstiller ikke de enkelte discipliner og teorier – det kan man finde i andre bøger og i leksika – men forsøger at koncentrere sig om de centrale begreber og den forståelse, som ligger gemt i disse. Måske en art afmystificering. Som forfattere har vi forsøgt at koncentrere og fokusere, for emnet er jo vældig stort. Vi giver en kronologisk fremstilling og forsøger også i flere sammenhænge at gå lidt bredere ud end den snævre naturvidenskab. Således ser vi også på træk ved teknologi, organisation, ledelse og psykologi.

Vi har forsøgt at skrive ERGO, så den kan læses og bruges af enhver med en elementær interesse for naturvidenskab. Vi håber, at alt fra helt nye og nysgerrige læsere til garvede forskere vil læse og lade sig berige. Den skulle også gerne vække lysten til at få mere viden.

Vi har ikke behandlet det spændende emne om, hvorfor moderne viden-skab i den grad er et vestligt fænomen, ej heller de væsentlige udviklinger af teorier og teknologier inden for indiske, kinesiske og arabiske samfund. Vi ved endnu for lidt om dette uhyre omfattende emne, som netop i disse år gøres til genstand for undersøgelser og refleksioner i forskellige forsknings-

miljører. Vi har dog givet nogle henvisninger til pågående arbejde i vores litteraturliste.

I første kapitel starter vi med at kigge på nogle af de forudsætninger, der må være til stede, før man kan tale om en ide-skabende kultur. Sådanne kulturer har sandsynligvis eksisteret før grækerne, men vores viden om dem er meget begrænset, og vi har valgt ikke at beskæftige os med det, der ligger tidligere end den europæiske kulturkreds. Vi beskriver de ioniske filosoffers forsøg på at lave teorier om verdens sammensætning og virke, og bevæger os så hurtigt fremad i tiden med et kapitel om middelalderen og den arabiske kulturs store indflydelse på europæisk videnskabelig tænkning, hvorefter kapitel tre tager fat i renæssancens omvälvningar og den videnskabelige revolution. Kapitel fire og fem dækker groft set perioden mellem 1750 og 1900.

Bogens sidste fem kapitler er struktureret en smule anderledes end de første fem. De er ikke opdelt epokalt, men tematisk. Det skyldes blandt andet, at antallet af naturvidenskabelige resultater og nybrud efter år 1900 vokser nærmest eksponentielt og fremviser stærkt kompleksitetsforøgende sammenfiltringer. Disse kapitler er således fremstillinger med brede penselstrøg over væsentlige idehistoriske temaer i den moderne naturvidenskab, og ikke kronologisk organiserede historier. Man vil således kunne finde ideer om superstrenge og sorte huller allerede i slutningen af kapitel seks, selv om de tidsmæssigt hører til i perioden 1980 og frem. Kapitel syv omhandler mange af logikkens og matematikkens paradoksale erkendelser, der siden 1910'erne har ført til en mere forfinet, men også mere ydmyg forståelse af naturvidenskabens muligheder for at have fast grund under fødderne. Kapitel otte behandler videnskabeliggørelsen af kulturen og de mange sociale forandringer, dette har medført – også med hensyn til selve den videnskabelige praksis. Kapitel ni tager fat på biologien og det evolutionære verdenssyn, som så udtrykkeligt har ændret vores ideer om formål og oprindelse, og som fortsat udfordrer vores selvbillede. Endelig tager kapitel ti fat på mange af de nye tværvidenskabelige emner, som er blevet gjort mulige, efter at vi har lært at analysere komplekse netværk, og efter at verden er blevet global.

*God læse- og tænkelyst!*

Robin Engelhardt og Hans Siggaard Jensen

Problemet med at erhverve ny viden er,  
at det afslører ny uvidenhed:  
jo flere kendsgerninger, desto flere spørgsmål.

JULIAN HUXLEY, 1943



Det centrale i videnskaben:  
stil et upassende spørgsmål,  
og du er på vej til et passende svar.

JACOB BRONOWSKI, 1973



Videnskaben må begynde med myter,  
og med kritikken af myter.

KARL POPPER, 1957



En myte er selvfølgelig ikke kun eventyr.  
Det er en præsentation af kendsgerninger  
fra én kategori i en sprogdragt, der passer til en anden.  
At afsløre en myte er følgelig ikke at  
benægte kendsgerninger, men at omplacere dem.

GILBERT RYLE, 1949





# 1 De første teorier om verden

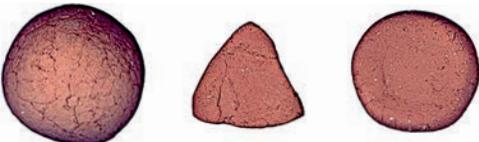
To fænomener er helt afgørende for, at man kan udvikle en ideformende kultur – en kultur, der ikke kun indeholder religion, men også refleksion, ikke kun kunst, men også refleksioner over kunst, ikke kun ritualer, men også systematisk udvikling af metoder til problemløsning. De to fænomener er *tal* og *skrift*. Med tal holder man tal på sine ting, repræsenterer forhold i omverdenen og udvider sin evne til at huske. Med skrift – især i form af skriftspråk baseret på et alfabet og ikke billede-tegn – kan man ikke blot notere antal, men også hvilke objekter, man har dette antal af. Man kan fortælle sin historie og bevare den for eftertiden, uden at skulle forlade sig på mundtlig overlevering og den menneskelige hukommelse. Og man kan *se*, hvad man selv eller andre har sagt eller tænkt, ikke kun høre det. Man kan endda begynde at reflektere over selve det forhold, at der på et stykke papir – eller en lertavle, en papyrusrulle osv. – står noget, som ikke kun er streger, men noget med betydning og indhold.

Billeder er menneskets første repræsentationer. For omkring 10-15.000 år siden frembragte mennesket de først kendte repræsentationer, der viser, at man har benyttet sig af optælling. Man har bevaret små simple lerfigurer fra for omkring 10.000 år siden, som har været brugt til at repræsen-

tere forskellige antal af beholdere eller dyr. Det var måske menneskets første system til opbevaring af informationer. I forhold til f.eks. et vist antal streger på en knogle kunne dette system bruges til at tælle og opbevare information om både antal og kategori. Syv kør, tre

Den græske astronom, matematiker og geograf Ptolemaios' *Geographia* fra 150 e.v.t. indeholder instruktioner til at tegne kort over "oikumene", dvs. over hele den beboede verden. Selve kartene stammer fra ca. 1300 e.v.t. og frem, efter at munken Maximus Planudes (ca. 1260-1330) havde genopdaget manuskriptet. Her ses Ptolemaios' kort over Europa. Bemærk, hvordan Skotland nær næsten helt over til Danmark.

Omkring 8000 f.v.t. begyndte man i og omkring det nuværende Iran at bruge simple geometriske former som f.eks. kugler, trekantede og møntformede lerklumper til at optælle med i en-til-en-korrespondance. Fra venstre ses et mål for korn, et mål for en bestemt dyrerace og et mål for en dags arbejde. Systemet blev brugt i ca. 5000 år, indtil man begyndte at bruge abstrakte tal, der førte til skrift omkring 3200 f.v.t. og matematik omkring 2600 f.v.t. Schøyen-Samlingen MS 5067/1-8 · Oslo og London.



tønder korn og måske endda arbejdsheder: tre hele dages arbejde osv. Man kalder systemet for konkret tælling. I årene fra omkring 8000 til 3200 f.v.t. spredtes sådanne bogføringssystemer over hele Mellemøsten.

Omkring 3200 f.v.t. ændredes systemet og blev mere komplekst. Det skete i Sumer og hang sammen med, at der her på denne tid opstod de første store bysamfund – og med dem organiseret religion, store templer og en statsdannelse med behov for at opkræve skatter. Tal-lerfigurerne repræsenterede nu ikke bare korn og køer, men også færdigvarer som man kunne handle med: tøj, tekstiler, metalgenstande og redskaber, smykker, brød og krukke fyldt med olie. De simple lertal udviklede sig efterhånden til to af de mest afgørende menneskelige frembringelser: de abstrakte tal og en skrift baseret på fonetisk opdeling af talesproget, og dermed senere alfabetisk baseret skrift, i modsætning til f.eks. de kinesiske piktogrammer.



Det lille leræg øverst med rille i toppen repræsenterede en krukke olie. De andre figurer stod for forskellige tekstiler. Schøyen-Samlingen MS 4522/1-8 · Oslo og London.

Når skrivere og bogholdere i Sumer skulle opbevare og kommunikere information, skete det ved at sende de små lerfigurer i lerkonvolutter, der altså var en slags beholdere med små ting i, der repræsenterede det, der blev talt om. Beholderne var upraktiske, da man ikke kunne se, hvad de indeholdt. Man begyndte så at sætte tegn på selve konvolutten for at angive indholdet. Snart indså man, at det jo overflødigjorde selve indholdet – konvolutten med tegn på var nok i sig selv. En lille lerkugle blev så til en cirkel, en lille lertop til en trekant osv. De kompleksse lerfigurer, der ikke bare kunne afbildes, trak man på

## ∴ Udviklingen fra lerfigurer til skrifttegn

Lerfigurer	Piktogram	Neo-sumerisk/ gl.-babylonsk	Neo-assyrisk	Neo-babylonsk	Dansk
					Får
					Kvæg
					Hund
					Metal
					Olie
					Klæde
					Armbånd
					Parfume

snore, og de blev derved organiseret lineært, som led på en kæde. Senere blev de til billeder, der blev sat efter hinanden, og dermed til skrift. Et lille leræg med en rille blev til et O med en streg igennem, et Ø, og det stod for en krukke olie.

Sumererne foretog altså den abstraktion, det er at gå fra at repræsentere tredimensionale ting i verden med små legetøjsting, der også er tredimensionale, til at repræsentere ting todimensionalt, som tegn på en flade. De fandt også på at repræsentere tre krukke olie ikke som ØØØ, men med et tegn for tre og så et Ø. De tegn, de valgte for tallene, var oprindeligt tegnene for mål af korn. En kile stod for et lille mål af korn, en cirkel for ti af disse osv., i en blanding af et decimalt og et seksagesimalt talsystem noteret efter nogenlunde samme principper som romertallene. Tredive krukke olie kunne altså noteres sådan her: oooØ. Taltegnene var afledt af de tidligere simple lerfigurer og blev presset i leret, ordtegnene blev kradset i leret med en spids træpen. Man kunne altså sondre mellem taltegn og ordtegn.

Senere blev ordtegnene til tegn for stavelses, og man udviklede et fonetisk baseret skriftsystem. Det skete muligvis på grund af behovet for i regnskaber – f.eks. skatteregnskaber – at kunne referere til personer og anføre

deres navne. Reference til personer skete tidligere ved hjælp af personens segl, som næsten alle i Sumer havde et af. Det krævede imidlertid personens tilstedevarsel og var derfor upraktisk. Samtidig kunne ikke alle navne repræsenteres ved simple billede, så man gik over til at bruge en fonetisk repræsentation. Det blev forløberen for den senere alfabetiske skrift, der opstod i Mellemøsten næsten 2000 år senere.

Skriften opstod altså ud fra tallene. I tiden mellem den abstrakte repræsentations opkomst og alfabetets havde man i Babylon udviklet brugen af tal. I et samfund som det babylonske med både store byer, handel og en statsmagt, der opkrævede skat, og et landbrug, der skulle forsyne byerne, måtte man bruge tal til mange ting. Kalender, regnskaber, opmåling af land. Der udviklede sig mange metoder til sådanne beregninger, og vi kender dem fra et stort antal bevarede lertavler. Babylonierne foretog også astronomiske observationer og gjorde sig tanker om universets indretning.



Der er bevaret en lang række lertavler fra babylonsk tid, der beskriver vigtige hændelser i Babylons historie. Blandt andet denne, som fortæller om den babylonske erobring af Jerusalem i 597 f.v.t. og Nebukadnesar II's (605-562 f.v.t.) krig mod den egyptiske konge Neko II (609-594 f.v.t.), der tidligere havde forsøgt at erobre Syrien.

Udsnit af Papyrus Rhind. Denne seks meter lange papyrusrulle fra 1650 f.v.t. indeholder 87 matematiske problemer, blandt andet omkring multiplikation og brugen af brøker. Når egypterne brugte brøker, så var de altid formulert som summen af enhedsbrøker, dvs.  $1/n$ , hvor  $n = 2,3,4,5\dots$ . Hvis en egypter f.eks. ønskede at købe  $2/3$  af en lagkage, måtte det formuleres som summen af de to enhedsbrøker  $1/2+1/6$ . Papyrusen indeholder en tabel for alle  $2/n$ , hvor  $n$  er et ulige tal mellem 3 og 101. British Museum.

Det samme var tilfældet i Egypten, hvorfra skrifter med forskellige beregninger er bevaret. Det kendteste er det såkaldte Papyrus Rhind, der behandler en lang række regnetekniske problemer. I disse kulturer er der således udviklet en lang række beregningsmetoder, der er udviklet kalendersystemer baseret på observation af stjernerne, talsystemer og skriftformer af forskellig art og



komplekse forklaringer på universets opståen og indretning. Der er tale om meget store praktiske fremskridt. Alligevel så man disse fænomener enten som rent praktiske løsninger på konkrete problemer eller som led i en større rituel og mytologisk forståelse af livet og verden.

## Verden kan forstås

I Grækenland fandtes også en omfattende kultur baseret på rituelle og mytologiske forståelser af mennesket og dets verden. De kendteste fremstillinger blev givet af digterne Homer (8. årh. f.v.t.) og Hesiod (ca. 700-650 f.v.t.). Her er verdensforståelsen knyttet til en opfattelse af, at alt er styret af en række guder med meget menneskelige træk. De styrer verdens gang, både ved at gribe ind i og påvirke menneskenes handlinger og ved at stå bag fænomenerne i naturen. Men der er ikke tale om genkendelighed eller lovmaessighed: gudernes verden er fuld af konflikter, og deres viljer og handlinger er sjældent forudsigelige eller rationelle. Zeus drives af lyster og behov og udøver ikke kun rationelt overherredømme som en god, intelligent og myndig leder. De andre guder gør oprør og skændes indbyrdes, og selvom skæbnegudinderne fastlægger skæbnen, kan det virke som om, deres planer kan ændres af de andre guder. Det homeriske og hesiodiske verdens-



Rekonstruktion af det homeriske verdensbillede.

Jorden er flad og omgivet af vand, og guderne styrer menneskenes verden fra deres bjerg, Olympen.

billede er kaotisk og kun delvist anvendeligt til at give gode forklaringer på de fænomener, man kan observere. Det skyldes først og fremmest, at det forsøger at forstå og forklare verden, mennesket, samfundet og naturen ud fra en anden verden, der også er befolket med meget menneskelige væsen. Det forsøger endda at forstå naturfænomener som resultat af menneskelignende kræfter.

Men på et tidspunkt omkring år 600 f.v.t. begynder forskellige mennesker at tænke på en anden måde. De er kritiske over for de mytologiske forsøg på at forstå verden. De afprøver et alternativ, nemlig det man kunne kalde en naturalistisk verdensforståelse. Det vil sige, at de forsøger at give en forklaring på, hvordan verden er, og hvor mennesket er placeret i den, ud fra på den ene side erfaring og observation og på den anden side nogle mere generelle principper.

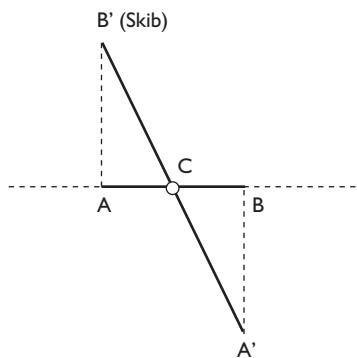
Et eksempel kunne være, at et skib er i havsnød. Det er det, fordi havguden Neptun er rasende. Nu forsøger man at redde det ved en bøn eller et offer – men alligevel forliser skibet. Vi forklarer nu forliset med, at Neptun ikke lod sig formilde. Det forklarer jo klart nok, at skibet forliste, men det er ikke en type forklaring, der kan danne grundlag for en mere almen forståelse. Det ville kræve, at man havde en almen forståelse af Neptun. Men han lader sig nogle gange formilde, andre gange ikke, tilsyneladende uden et bestemt mønster. Der er simpelthen ikke tale om noget rationelt samspil mellem observation, erfaring og generelle principper.

I de lilleasiatiske græske byer, på Sicilien og i Athen fremkom der bud på rationelle forståelser baseret på almene principper. Et eksempel er den første kendte filosof og videnskabsmand Thales (ca. 635-543 f.v.t.), der ifølge overleveringen havde studeret geometri i Egypten. Han forsøgte at løse en række problemer inden for geometrien og at anvende løsningerne til praktiske formål. Thales begyndte den lange tradition af græske matematikere og filosoffer, der udviklede nye teorier om verden, og han anses som den første,

der antog, at observerede fænomener ikke skulle forklares mytologisk, men derimod ud fra generelle principper, dvs. en slags naturlove.

I løbet af nogle århundreder fra omkring år 600 f.v.t. lykkes det grækerne at skabe nogle afgørende nye erkendelsesmæssige fænomener. Det vigtigste er nok den matematiske videnskab. Den opnår i denne periode en overraskende grad af fuldkommenhed og fremstår for mange senere kulturer som et erkendelsesmæssigt ideal. Dernæst lykkes det grækerne at grundlægge filosofien i deres forsøg på at finde begrundede svar på fundamentale spørgsmål. Endelig begynder grækerne at studere naturen på en måde, der minder om det, vi i dag kalder empirisk naturvidenskab. De udvikler astronomisk observation, de anstiller visse forsøg og udvikler en række fysiske teorier. De opnår nogle erkendelser og udvikler nogle begreber og metoder, som vi i dag anerkender og benytter. Visse af deres frembringelser fremstår næsten perfekte, fuldt udviklede, f.eks. Aristoteles' logik, der først rigtigt overgås i slutningen af 1800-tallet, eller Euklids matematiske værk *Elementerne*, der i lange perioder og helt op til i dag var næsten obligatorisk universitetslæsning. Det blev opfattet som et kroneksempel på den klare tanke og dens formåen.

De naturalistiske tænkere, også kaldet de ioniske filosoffer, fremførte en lang række teorier om naturens indretning. Nogle mente, at den bestod af urstoffet vand, andre anså luft for det centrale element. Det afgørende er dog ikke, *hvad* de konkret mente, men *hvordan* de mente det – nemlig at man skulle forklare den erfarede verden og dens fænomener ud fra en underliggende virkelighed, der først og fremmest var mere simpel og stringent, og som var struktureret ud fra logiske principper, sammenhænge og lovmæssigheder. Thales mente, at alt stammede fra vand, og at Jorden flød som en skive på et hav, og at universet som helhed var en halvkugle. Det svarer vel meget godt til en beskrivelse af den situation, hvor man står ved en kyst og kigger ud over havet. Han tilskrives også løsningen af problemer såsom



For at beregne afstanden fra stranden til et skib på havet benyttede Thales sandsynligvis et instrument bestående af to pinde (A-B og A'-B'), der var sømmet sammen i midten, men som kunne rotere frit. På toppen af et tårn ved stranden holdt Thales så den ene pind parallel med strandkanten og drejede derefter den anden pind, så punktet B' kom til at pege på skibet ude i havet. Thales vidste, at trekanten ACB' er den samme som trekanten CBA', og han behøvede derfor kun at kigge i den anden retning og se, hvilken bygning punktet A' pegede på inde i landet, og derefter måle afstanden til den (eller slå den op i en tabel).

bestemmelsen af afstanden fra strandkanten til et skib på havet og af højden på en pyramide, begge ved brug af ensformede trekantter, dvs. geometri.

Andre naturalister var Anaximander (ca. 610-545 f.v.t.) og Anaximenes (d. ca. 525 f.v.t.), der som Thales levede i den lilleasiatiske by Milet i årene efter 600 f.v.t. De beskæftigede sig også med at forklare naturfænومener, som f.eks. lyn og torden, og med at skabe praktiske løsninger, f.eks. bedre kort. En naturalist, der foretog omhyggelige empiriske observationer, var Diogenes fra Apollonia (ca. 450-400 f.v.t.), som var den første, vi kender, der beskrev menneskets anatomi, især blodårerne.

Omkring år 500 f.v.t. levede Heraklit (ca. 540-480 f.v.t.) i byen Efesos nord for Milet. Han tilføjede tænkningen en række nye træk. Han fremførte bl.a., at man ikke skal tro på noget, bare fordi en bestemt person siger det. Derimod er det fornuftens, *logos*, man skal have tillid til. For Heraklit var altting forandring, men forandring forudsatte også noget uforanderligt. Verden, som den oplevedes, kunne altid beskrives i modsætninger – at det som var sundt for den ene, var skadeligt for den anden, og at den samme ting på den måde kunne være både sund og skadelig. Altting var modsætninger og bevægelse, ja bevægelse og forandring var netop kun mulig via modsætninger. Himlen var både lys og mørk, ellers kunne der jo ikke ske forandring fra dag til nat. For Heraklit var urstoffet ikke vand eller luft, men *ild*. Ilden er knyttet til forandring og modsætninger. Ilden kan forandre vand til damp, der igen kan fortættes osv. Heraklit forsøgte altså at give en almen beskrivelse af den verden, han oplevede, en verden af modsætninger og konstant forandring, domineret af strid snarere end harmoni. Heraklit anlagde på den måde et dynamisk perspektiv, et perspektiv præget af processer og forandringer, snarere end af struktur. Alligevel havde Heraklit stadig fuld tillid til den menneskelige erkendelse. Han så forskning og sund fornuft som meget vigtige, ligesom han havde tillid til, at der rent faktisk eksisterede en objektiv verden, som man kunne få erkendelse om. Senere tænkere skulle sætte afgørende spørgsmål ved disse opfattelser, som Heraklit delte med de andre naturalistiske tænkere. De kaldes derfor til tider ukritiske eller naive naturalister. Deres problemstillinger handler om at beskrive og forklare fundamentale træk ved naturen: at noget opstår, at noget forandres, og at noget forgår.

## Sansernes og forstandens tvivlsomme brugbarhed

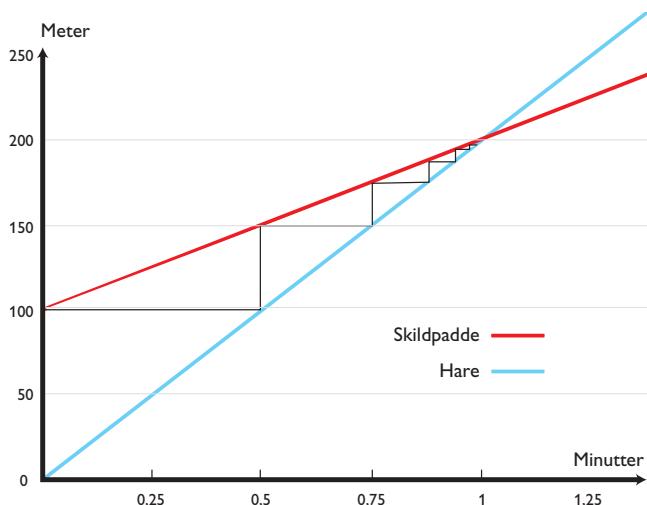
I de syditalienske byer Kroton og Elea opstod omkring 500 f.v.t. to filosofiske retninger, som fik stor betydning for senere tænkning og forskning. Den ene skole var grundlagt af Pythagoras (ca. 580-500 f.v.t.), den anden af Parmenides (ca. 515-450 f.v.t.). Pythagoras' skole var først og fremmest en matematisk skole – faktisk kommer selve betegnelsen “matematik” fra denne skole, som betegnelse for dens pensum. Parmenides' skole, hvis tilhængere kaldes eleaterne, undersøgte bl.a. logiske og meningsmæssige spørgsmål.

Eleaterne beskæftigede sig blandt andet med forholdet mellem sanserindtryk og forstand. Når nogle mennesker sagde ting som “alting er vand” eller “der findes ikke noget, som ikke er vand”, udtalte de sig om forskelle og om ting, der ikke fandtes. Hvordan kunne man det? Ethvert udsagn om forskelle måtte nødvendigvis sige, at noget er til, mens noget andet ikke er til. Men ifølge Parmenides kunne man kun sige, at noget er til, og man kunne også kun sige om det, der ikke er til, at det netop ikke er til. For ham var det eksisterende en enhed, præget af manglen på forskelle. Ydermere kunne man ikke ved tænkning tage fejl, for så ville man f.eks. kunne sige om noget, der ikke var til, at det var til, hvilket var meningsløst, netop fordi det var umuligt at sige. Med andre ord var der ifølge Parmenides logiske begrænsninger knyttet til udforskningen af verden. Sansebaseret observation og erfaring var upålidelige kilder til erkendelse, og sproget var ikke i stand til at sige noget meningsfuldt om den verden, vi tilsyneladende lever i.

Parmenides' elev Zenon (f. ca. 490 f.v.t.) formulerede endda en række “paradokser”, der skulle vise, at den tilsyneladende verden ikke kunne være den virkelige. Paradokserne knyttede sig alle til bevægelse og problemer med at beskrive bevægelse på en logisk sammenhængende måde. Zenons antagelse var, at en beskrivelse af et bestemt fænomen i verden er en beskrivelse af en tilstand, og hvis man vil beskrive overgangen fra én tilstand til en anden, må den vare et vist tidsrum. Man kunne f.eks. spørge, hvor lang tid det tog en hare at bevæge sig fra A til B, eller hvor lang tid det tog fra den startede til den nåede en hastighed på 10 km i timen. Men hvor lang tid det tog, fra den sidst stod stille, til den begyndte at bevæge sig, det kan man ikke spørge om. Eller rettere sagt kan man godt spørge, men der gives ikke noget svar. Zenon antog nu, at enhver bevægelse fra A til B måtte bestå af en række af tilstande, forstået på den måde, at der mellem tilstanden i A og tilstanden i B måtte være en række mellemliggende tilstande. Men enhver tilstand

er også en stilstand, for bevægelse tager tid, og Zenon mente, at en tilstand ikke indeholdt bevægelse. En situation uden forandring ville således være at forstå som en serie af tilstænde, dvs. at man forstod et tidsrum som en serie af tidspunkter. Omvendt er det jo også klart, at et tidspunkt basalt set kun kan forstås som grænsen mellem to andre tidsrum, f.eks. fortiden, fremtiden og tidspunktet, hvor de mødes, nuet. Parmenides og Zenon konkluderede, at man ikke kan stole på erfaring og observation. For man så jo ting bevæge sig, man så jo forandring. Hvis man ville erkende den egentlige virkelighed, måtte man bruge tænkning og fornuft, altså logisk analyse.

For Parmenides og Zenon var verden én og uforanderlig. Alt andet førte til logiske selvmodsigtelser. For Pythagoras var verden for så vidt også én, men den var også to og tre og alle de andre tal. Pythagoras var født på Samos ved Lilleasiens kyst, men grundlagde en skole og et samfund i Syditalien. Vi kender ham først og fremmest fra den pythagoræiske læresætning, der siger noget om forholdet mellem siderne i en retvinklet trekant. Pythagorærne undersøgte ikke blot geometriske fænomener, men også en lang række talteoretiske forhold. Men de gjorde det ved at studere konkrete strukturer i repræsentationer af talforhold, f.eks. ved at arrangere små sten i forskellige mønstre. For pythagorærne, som for grækerne i almindelighed, var geometriske fænomener knyttet til figurer, og tal var knyttet til størrelse. Således var begge fænomener knyttet til noget, der kunne aflæses og erkendes direkte. En trekant var ikke det areal, som indesluttedes af tre



Zenon udtænkte i alt fire paradoxer om problemer ved bevægelse og kontinuitet. I et af dem løber en hare og en skildpadde om kap. Skildpadden får et forspring for haren, og det betyder ifølge Zenon, at haren principielt aldrig vil kunne indhente skildpadden, da den for blot at nå op på siden af den skal igennem et uendeligt antal mellemliggende tilstænde. Senere tænkning mener dog at have løst "paradoxet" ved at påpege, at disse mellemliggende tilstænde er tidsperioder, som konvergerer mod nul, selvom hastigheden ikke gør det.

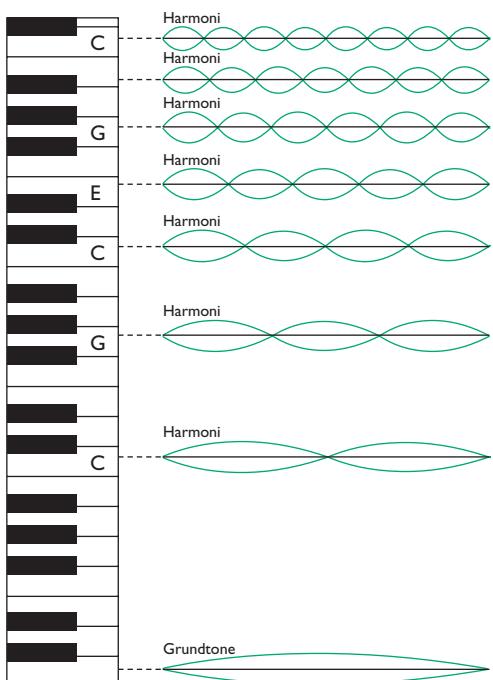
Sammenhængen mellem matematik og musikalske harmonier blev opdaget af Pythagoras, der fandt ud af, at man kunne danne forskellige harmonier på en lyre ved at placere fingeren på positioner, der svarer til brøker af grundtonen. Her ses harmonierne, som de svarer til tonerne på et klaver.

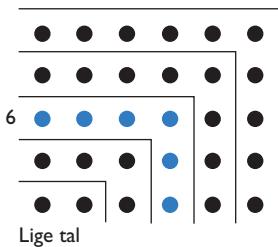
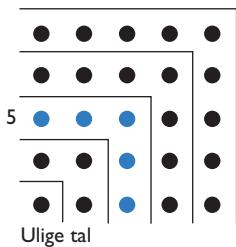
uendelige linjer, der skærer hinanden, og et tal var ikke en uendelig decimalbrøk. Et tal blev forstået som forholdet mellem to størrelser. Derudover opdagede pythagorærne forskellige sammenhænge mellem harmoniske lydforhold og talforhold. Vi mindes om det, når vi definerer intervaller i musik ved hjælp af brøker, hvor en oktav er den tone, der fremkommer i forhold til en given tone afgivet af en streng, når strengens længde halveres.

Pythagorærne arbejdede også med et simpelt instrument bestående af en pind vinkelret placeret på en plan placeret i Solen – dvs. en slags solur. Pindens skygge beskriver i forhold til dagens og årets gang interessante bevægelser, der knytter kosmiske fænomener sammen med geometriske i planeten. Grækerne brugte ikke dette instrument til i nutidig forstand at måle eller vise tiden, men til at studere samspillet mellem de matematiske forhold, som skyggen og pinden kunne fremvise på en flad projktion. De arbejdede også med et såkaldt gnomon, der var betegnelsen for differensen mellem to kvadrater, som vist her (det blå område).

 Et gnomon kunne repræsenteres med små sten eller regelmæssige punkter i et plan. Ved at se på f.eks. diagonalerne i sådanne figurer og på antallet af punkter i et gnomon, når firkantern vokser eller mindskes, kan man opdage mange talteoretiske sammenhænge. F.eks. kan man se, at kvadrattal er summen af ulige tal, altså at  $1+3+5+7 = 16 = 4^2$ , og at det vil gælde for alle kvadrattal, der bliver lagt op. Hvis man bruger de lige tal, bliver gnomonen aflængt, hvilket ifølge Pythagoras betyder, at de lige tal ikke er så perfekte og hellige som de ulige tal.

Pythagorærne adskilte sig fra de naturalistiske filosoffer ved, at de sammenknyttede deres forskning med en religiøs verdensforståelse baseret på tal-



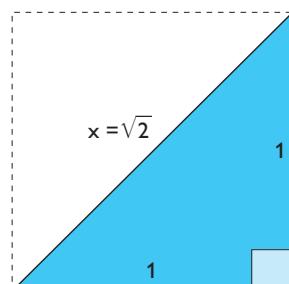


Pythagoras nåede langt med sine opdagelser i matematikken ved hjælp af gnomoner. Han brugte dem som grundlægning til at lave numeriske mønstre af forskellig størrelse. Han fandt blandt andet, at ulige tal altid fører til kvadratiske mønstre, og han kunne dermed føre et geometrisk bevis for formlen:  $1+3+5+\dots+(2n-1) = n^2$ .

mystik, og ved at de ikke ønskede at leve som tænkere og forskere i et åbent samfund. I stedet isolerede de sig som medlemmer af et lukket, næsten klostergagtigt samfund. De anså tal for at være det grundlag, verden eksisterede på. De beskæftigede sig ikke med tal af praktiske hensyn, for at kunne føre regnskaber el.lign., men fordi de anså matematikken som vejen til den dybeste erkendelse. Det var ikke erfaringer, observationer eller eksperimenter, der kunne give indsigt eller viden, men derimod manipulation med symboler.

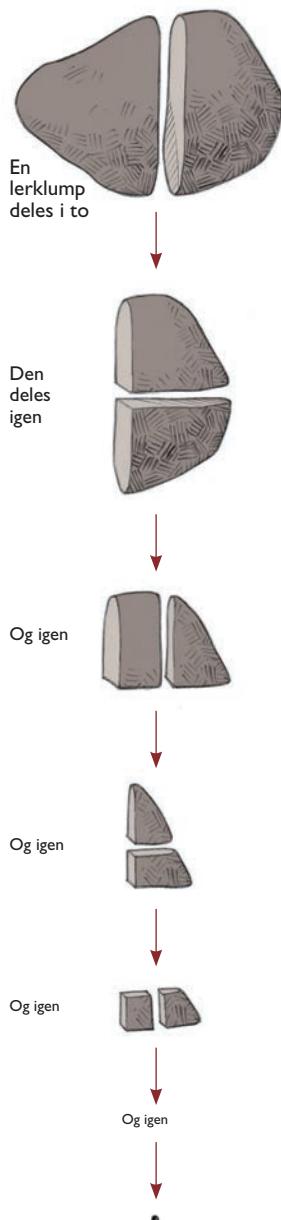
For pythagorærerne var tallene først og fremmest de hele tal. Disse tal var knyttet til størrelse, f.eks. længden af et linjestykke. To linjestykker stod i et bestemt forhold til hinanden, det vi ville repræsentere som en brøk. Brøker var forhold mellem hele tal. Et forhold mellem to brøker kunne derfor altid omformes til et forhold mellem hele tal. Et linjestykkets længde var i virkeligheden forholdet mellem linjestykket og et andet linjestykke med længden én. Det gav imidlertid pythagorærerne problemer med helt simple figurer. Vi kan f.eks. se på et kvadrat med siden 1 og forsøge at beregne længden af diagonalen. Ud fra Pythagoras' egen læresætning er længden kvadratroden af 2. Kaldes diagonalens længde for  $x$ , har vi  $1^2 + 1^2 = x^2$ .

Det interessante er nu forholdet mellem diagonal og side,  $x$  og 1. Vi kalder tallet  $x$  for  $\sqrt{2}$  og ved, at det er et såkaldt irrationaltal. Det vil sige, at det netop ikke kan udtrykkes som en brøk. Hvorfor nu ikke det? Lad os antage, at det kunne. Så ville der være et forhold  $x = \frac{n}{m}$ , som udtrykte det. Men Pythagoras' egen sætning ville så sige, at  $\frac{n^2}{m^2} = 2$ . Men det kan ikke være tilfældet, at både  $n$  og  $m$  er lige tal, for så ville vi kunne reducere brøken yderligere og netop opnå, at ikke både  $n$  og  $m$  var lige. Lad os derfor antage, at  $n$  er lige og  $m$  ulige. Så kan  $n$  skrives som 2 gange et helt tal  $p$ , og  $2p^2$  er så lig  $m^2$ , der derfor er lige. Men det strider jo imod antagelsen. Hvis vi så antager, at  $n$  er ulige og  $m$  lige, kan vi gennemføre et tilsvarende argument.



de argument. Ergo, ligegyldigt hvad vi antager, får vi en modstrid. Det er et såkaldt indirekte bevis for, at forholdet mellem siden i et kvadrat og diagonalen ikke kan udtrykkes ved en brøk. Pythagoræerne har muligvis indset, at der var forhold mellem linjestykker, der ikke kunne udtrykkes som forhold mellem hele tal, ved at betragte en regulær femkant. Når man tegner dens diagonaler, opstår en ny femkant i midten, i hvilken man kan tegne diagonalerne, og så videre i det uendelige. Forholdet mellem den første femkants side og dens diagonal er det samme som det tilsvarende forhold i den anden og i den tredje, fjerde, og igen videre i det uendelige. Men side og diagonal bliver hele tiden mindre og mindre, de nærmer sig nul. Forholdet bliver altså også nul, troede pythagoræerne. Det ville sige, at det ikke eksisterede og egentlig skulle udtrykkes som  $\frac{0}{0}$ , hvilket er meningsløst. For pythagoræerne var denne opdagelse katastrofal, for den viste, at ikke alt i verden kunne udtrykkes ved hjælp af tal. Hvis vi i dag skal udtrykke tallet  $\sqrt{2}$ , så må vi bruge en uendelig decimal-brøk. Det er netop et tal, som aldrig kan skrives helt ud.

Matematik, geometri og regnekunst havde udviklet sig fra at være en hjælpdisciplin, der kunne løse praktiske problemer, som man ser det hos babyloniere og egypterne, til også at omfatte undersøgelser af abstrakte egenskaber hos tal og figurer. Man kunne ikke bare løse forhåndenværende problemer, men havde også forestillinger om, at påstande kunne bevises. I et bevis gør man nogle antagelser, som virker rimelige, og ud fra disse begrunder man trin for trin igennem logisk slutning den påstand, man vil bevise. Det er en aktivitet baseret på argumenter. De naturalistiske filosoffer ville også argumentere. De havde alle matematisk kunnen og indsigt. Men de ville mere end matematik, de ville udvikle teorier om de observerede naturfænomener. Hurtigt begyndte der at foreligge meget forskelligartede bud på, hvordan naturfænomener skulle forklares. Dermed var der også skabt grobund for, at man begyndte at tage selve det at udtales sig om verdens indretning op til overvejelse. Hvordan opnår man erkendelse, og hvad kan man overhovedet sige meningsfuldt? Heraklit gav ét bud på verdens væsen, Parmenides og Zenon et helt andet, og sidstnævnte hævdede endda, at man slet ikke kunne stole på sine sanser. Pythagoræerne anså alene den rene tænkning – ren fordi den var ubesmittet af sanserne – for en kilde til erkendelse.



## Atomer og det tomme rum

I årene op imod 400 f.v.t. opstod der en række nye teorier om verdens indretning og forskningens karakter. En af de vigtigste var den atomistiske teori. Den var et forsøg på at løse modsætningen imellem Parmenides' beskrivelse af verden som uforanderlig og Heraklits beskrivelse af verdens konstante forandring og strid. Leukippus (5. årh. f.v.t.) og hans elev Demokrit (ca. 460-400 f.v.t.) fremsatte den teori, at naturen bestod af små faste korpuskler, atomer, der var uforanderlige og udelelige. Alt, hvad der fandtes, var opbygget af atomer i forskellige konfigurationer, og al forandring bestod i, at atomer, der selv var uforanderlige, forandrede deres konfigurationer. Også mennesket bestod af atomer, og erkendelse og tænkning var i virkeligheden atomare processer. Fysiske genstande – for ikke at tale om matematiske – var således ikke delelige i det uendelige. Man ville altid komme til et punkt, hvor man ikke længere kunne dele.

Så man f.eks. på en dråbe vand, kunne man tro, at den kunne gøres vilkårligt lille, hvis man blev ved at reducere den. Men atomisterne hævdede, at der ville komme et punkt, hvor materien hang sådan sammen, at ikke nogen fysisk påvirkning overhovedet kunne skrælle eller skalle noget af. Det var atomerne. De hævdede også eksistensen af noget ganske mærkværdigt: det tomme rum. Uden det tomme rum havde atomerne jo ikke noget at bevæge sig i. Men det tomme rum kunne forekomme at være ingenting, og det havde Parmenides netop sagt ikke fandtes, for kun det værende er til, og det ikke-værende er netop ikke til. Men Leukippus og Demokrit hævdede, at det tomme rum – ingenting – faktisk fandtes.

Demokrit grundlagde en skole i sin fødeby Abdera, hvor han og hans elever, atomisterne, forsøgte at give en sammenhængende materialistisk teori for både naturfænomener og menneskelige psykologiske fænomene-

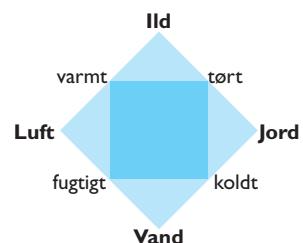
Det atomistiske verdensbillede, som blandt andre Demokrit og Leukippus forestillede sig det. Alt var opbygget af atomer, og fysiske genstande var således ikke delelige i det uendelige. Blev man ved at dele, ville man til sidst komme til materiens faste kerne: atomerne.

ner. De opfattede alle fænomener som knyttet til atomernes sammensætning og adskillelse. Atomernes antal er uendeligt, ligesom det tomme rum er det. Verden er altså ikke endelig, men uendelig. Menneskets sansning og erkendelse af verden er også i sig selv en atomar proces. Nogle træk ved erkendelse og sansning skyldes alene atomerne fra de sansede genstande, der påvirker atomerne i menneskets erkende- og sanseapparat. Nogle egenskaber, som vi erkender, er altså objektive, og andre er knyttet til egenskaber ved vores sanseapparat, det vil sige, at de er subjektive. Det er en distinktion, som senere skal vise sig meget væsentlig.

Et vigtigt træk ved atomisternes teori er også, at den for første gang klart formulerer, at vi både kan vide noget om, hvordan verden fremtræder for vores sanser, og om den bagvedliggende virkelighed, som vi kun kan tænke os til. Vi ser, hvordan nogle væsentlige træk ved verden er, og vi kan forklare dem ved en eller flere hypoteser, der involverer elementer, som vi ikke kan se. Atomerne kan ikke ses, men det er via dem, vi ser.

To andre tænkere forholder sig også til de problemer, som Heraklit og Parmenides rejste om verdens foranderlighed eller uforanderlighed. Den sicilianske græker Empedokles (ca. 490-430 f.v.t.) fremsatte en teori om, at altting består af fire elementer i forskellige blandingsforhold. Det var en art første grundstof-teori, der helt op til 1700-tallet havde stor indflydelse.

Empedokles hævdede også, at disse elementer blandedes og adskiltes som følge af bestemte kræfter imellem dem, kræfter som lignede menneskelige følelser som tiltrækning og frastødning. Der var altså i verden både stof – fire forskellige slags – og kræfter mellem stoffet. En noget anden verdensopfattelse blev nogenlunde samtidig fremsat af Anaxagoras (500-428 f.v.t.) fra Athen. Han fremsatte en opfattelse af stoffet, der var direkte i modstrid med atomisternes og Empedokles' opfattelser, idet han hævdede, at altting var deleligt uendeligt, og at der i alt ting var en del af alt andet. Han mente heller ikke, at verden var styret af mekaniske love, men snarere af en art åndelig formålsrettethed, en form for kosmisk fornuft.



Empedokles' fire elementer var ild, vand, jord og luft. Hvert element har nogle delte egenskaber: luft er primært varm, men også fugtig, vand er fugtig, men også kold, jord er kold, men også tør, ild er tør, men også varm. Til hvert element knyttede Empedokles en legemsveske, hvis harmoni eller disharmoni indvirkede på menneskets psykologiske temperamenter. I Aristoteles' fortolkning har man også et femte element, "æteren" eller "kvintessensen", som kun findes uden for Jorden i de himmelske sfærer.

Historikeren Herodot (ca. 480-420 f.v.t.) brugte betegnelsen *historia* om sit arbejde, og ordet betyder noget i retning af undersøgelse eller forskning. For os betyder det verdens gang og beretninger om den. Naturhistorie er således undersøgelser af naturen. Naturen kaldte grækerne for *physis*, deraf fysik som en naturvidenskabelig gren. *Physis* kunne måske også oversættes med ”stof” eller ”materie”, dvs. det som vi mener, naturen består af. Historikeren Thukydid (ca. 460-400 f.v.t.) ville forklare de begivenheder, han fortalte om, ud fra antagelser om menneskets natur, dets væsen. På samme måde som naturfilosofferne ville forklare den af mennesket oplevede verden. Men menneskets verden var en anden end naturens. Den var præget af regler, som mennesket selv vedtog. Naturen, *physis*, var også styret af regler – det, vi i dag kalder naturlove.

Samspillet mellem menneske og natur kom således i centrum omkring 400 f.v.t. Naturen var interessant, for så vidt den kunne afgive normer eller principper for menneskenes omgang med hinanden og for samfundets indretning. I sig selv gled den som genstand for *historia* noget i baggrunden. Matematikken blomstrede fortsat, men netop som en abstrakt disciplin. Demokrit havde allerede påpeget det subjektive ved megen erkendelse. Hvad der for den ene er varmt, er for den anden koldt. Den samme balje vand kan endda føles varm med den ene hånd og kold med den anden, hvis man forinden har nedsænket den ene hånd i koldt vand og den anden i varmt. Demokrit åbnede således ligesom Parmenides op for et skeptisk syn på menneskets mulighed for erkendelse af en objektiv virkelighed – i hvert fald gennem sanserne. Sofisterne udnyttede dette ved at tilbagevise skepticismen og hævde, at der slet ikke fandtes en objektiv, naturlig virkelighed at erkende. Al erkendelse var knyttet til mennesket.

Heraklit havde hævdet, at alle ting indeholdt modsætninger. Man kunne sige om en ting, at den både var varm og kold. Samtidig var det klart, at man ved at observere naturen sagtens kunne begrunde sådanne udsagn. Konklusionen blev for mange tænkere, at observation ikke var en sikker kilde til erkendelser om naturen. Det endte tit med et skeptisk standpunkt. Man måtte *tænke* sig til, hvordan naturen var. Næste spørgsmål blev så, om tænkningen var et pålideligt værktøj – eller kunne det tænkes, at man f.eks. var fanget i sproget? Hvis naturerkendelsen ikke længere hvilede på direkte observation af naturen, havde det så ikke vist sig, at man var ”fanget” i menneskenes traditioner, i samfundets normer og konventioner? Og var det så ikke sådan, at

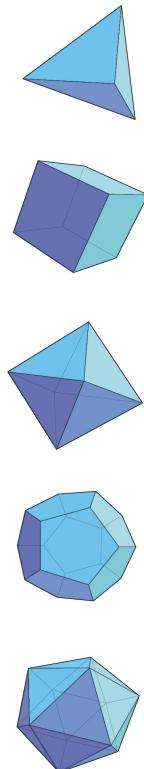
menneskenes indretning af samfundet var den mest velegnede genstand for erkendelse, snarere end naturen? Naturalismen var omkring år 400 f.v.t. således kommet til et vendepunkt. Sokrates (469-399 f.v.t.), Platon (427-347 f.v.t.) og Aristoteles (384-322 f.v.t.) gav hver deres svar på skepticismens spørgsmål.

## De platoniske sfærer

Demokrit havde fremlagt en radikal teori, der fraskrev universet enhver formålsmaessig orden. Atomerne bevægede sig efter deres egne love, alene under indflydelse af de kræfter, der var imellem dem. Det gav ikke plads til hverken skæbne eller mening i tilværelsen. Platon fremlagde både en erkendelsesteori og en opfattelse af verdens indretning, der tilbageviste Demokrit.

I dialogen *Timaios* beskriver Platon verden som en ordnet og frembragt genstand. En skaber, ”håndværker”, har skabt verden og nedlagt en række fornuftsprincipper i den. Konkret består verden af en række sfærer, der hver for sig har form som regulære polyedre – de såkaldte platoniske legemer. Denne model for verden forblev frem til renæssancen utroligt indflydelsesrig, blandt andet fordi *Timaios* var den eneste af Platons dialoger, som i dette tidsrum var alment kendt. For Platon var matematisk, i praksis geometrisk, harmoni altafgørende. Jorden måtte være cirkelrund, universet måtte være opbygget af legemer, der med konstant hastighed bevægede sig i cirkelbaner.

Platon bekymrede sig ikke om at observere, men dannede sine teorier på baggrund af antigelser om verdens og tilværelsens væsen. Geometrien blev anset for at være den mest fundamentale videnskab, blandt andet fordi den tillod logisk slutning ud fra simple og sel vindlysende aksioner. For Platon var geometrien eksempel på sand erkendelse. Man kunne via repræsentationer af de geometriske genstande, f.eks. tegninger, opnå erkendelse om de egent-



De Platoniske legemer er symmetrisk perfekte polyedre, som har identiske overflader, der møder hinanden i samme vinkel. Der findes kun fem måder at gøre det på i et tredimensionalt rum. Platon beskrev dem i dialogen *Timaios*, og Euklid bevisede i sit værk *Elementerne*, at der var præcis fem. Grækerne navngav legemerne efter antallet af sider. Den mindste er det 4-sidede tetraeder (pyramiden), derefter kommer det 6-sidede heksaeder (terningen), det 8-sidede oktaeder, det 12-sidede dodekaeder og det 20-sidede ikosaeder. Ifølge Platon repræsenterede legemerne de fire jordiske grundelementer ild, jord, luft og vand samt universet selv.

lige geometriske genstande, som var evige og foranderlige størrelser i en abstrakt verden. Erkendelse var således ikke erkendelse af sansernes verden, men af en anden verden, kun tilgængelig for ånden. De praktiske værktøjer til at undersøge denne verden med var sproget og fornuftens. Analysen og argumentet var for Platon vejen frem.

Man ser i dialogen *Staten*, hvordan Platon vurderer værdien af de forskellige former for geometri. Disciplinerne kan have praktisk anvendelse, først og fremmest inden for krigsførelse, men deres væsentligste funktion er at bidrage til en persons åndelige udvikling, til vedkommendes dannelses. Derfor var Platon også voldsomt kritisk over for enhver form for retorik, der forsøgte at påvirke med andre midler end den strengt logiske argumentation. I dialogerne *Gorgias* og *Faidon* angriber han kraftigt de lærere og filosoffer, der forsøger at opnå resultater ved hjælp af charme og overtalelse, det vil sige midler, som udnytter menneskers følelser og fordomme. Platon var formentlig ikke selv nogen stor videnskabsmand, men knyttede i sit akademi flere fremragende forskere til sig. Platons mest berømte elev og medarbejder, der skulle føre videnskab og tænkning langt videre, var Aristoteles. Ligesom Platon formulerede også Aristoteles en række dogmer, der skulle dominere tænkningen i århundreder frem.

## Aristoteles og de athenske akademier

Aristoteles oprettede en skole, *Lyceum*, i Athen, der nok må betegnes som verdens første forskningsinstitution. Her arbejdede man ikke kun med matematik og filosofi, men også bl.a. med fysiske, biologiske og astronomiske problemstillinger. Derudover foregik der forskning inden for en helt ny disciplin, nemlig logikken.

Aristoteles præsenterede som den første et sæt af regler for korrekt tænkning. Han behandlede en lang række problemer knyttet til hvilke begreber, der overhovedet findes, hvilke udsagn man kan forme, og hvordan man kan sammensætte dem til korrekte logiske slutninger. Endvidere fremlagde han som den første et eksplisit syn på, hvad videnskab er, han behandlede problemstillinger knyttet til praktisk argumentation i dagligdagen, og han udtaenkte en teori om talen, en retorik.

Central for hans logik er læren om syllogismerne, der er en særlig form for deduktiv slutning, hvor man ud fra en eller flere præmisser slutter til

en konklusion, og hvor der gælder det forhold, at konklusionen er indeholdt i præmisserne. Kernen i Aristoteles' videnskabsteori er en opfattelse af, at videnskabelige udsagn udtrykker forskellige former og grader af abstraktion. Nederst i abstraktionshierarkiet finder vi naturerkendelsen, fysikken, der beskæftiger sig med de materielle fænomener i deres afhængighed af form. Dernæst følger et abstraktionstrin, der alene beskæftiger sig med form forstået som geometrisk form og med kvantitet i stedet for kvalitet – det er matematikkens område. Endelig er der en abstrakt erkendelse, der beskæftiger sig med selve de begreber, vi benytter til at erkende med – det er metaphysikken. For Platon var naturen som sådan geometrisk, og dermed var idealet for en naturerkendelse af geometrisk art.

For Aristoteles er naturerkendelsen hverken geometrisk eller overhovedet matematisk. Derimod beskriver fysik og matematik den samme verden – der er blot tale om forskellige abstraktionsniveauer. Det er en fundamental anderledes opfattelse end Platons, hvor geometrien bruges til at beskrive en verden, der er væsensforskellig fra den, man har kontakt med via sanserne.

Ifølge Aristoteles bygger alle videnskaber på to typer udsagn. Dels udsagn, der ikke kan bevises, f.eks. aksiomer, hypoteser, definitioner og postulater, og dels udsagn, der godt kan bevises. Beviserne foregår som logiske slutninger, deraf Aristoteles' interesse for logiske slutninger, syllogismer. De ikke-beviste udsagns sandhed må bero på iagttagelse og observation, samt i visse tilfælde på selvindlysende sandheder. Videnskaben arbejder således i et samspil mellem iagttagelser og udledninger, dvs. mellem observation og deduktion. Denne sammenhæng er for Aristoteles en sammenhæng mellem generalisering, begrebsdannelse og logisk deduktion. Når Aristoteles skal forklare et naturfænomen, søger han derfor en årsagsforklaring. Aristoteles' forståelse af "årsag" er imidlertid bredere end vores gængse, idet han arbejder med fire typer af årsager (se også s. 62). For eksempel: en plante består af et stof – det er den materielle årsag. Den har en form, der gør den til den art, den nu engang er – det er den formelle årsag. Den har en "årsag", f.eks. det frø den er opstået af – det er den virkende eller frembringende årsag. Endelig er en plante også til stede med et bestemt formål, f.eks. at være

**Sokrates** er et menneske

Alle mennesker er **dødelige**

---

**Sokrates** er **dødelig**

føde for mennesker eller skabe skygge, og for Aristoteles er dét måske endda det vigtigste i beskrivelsen – formålet er også en årsag.

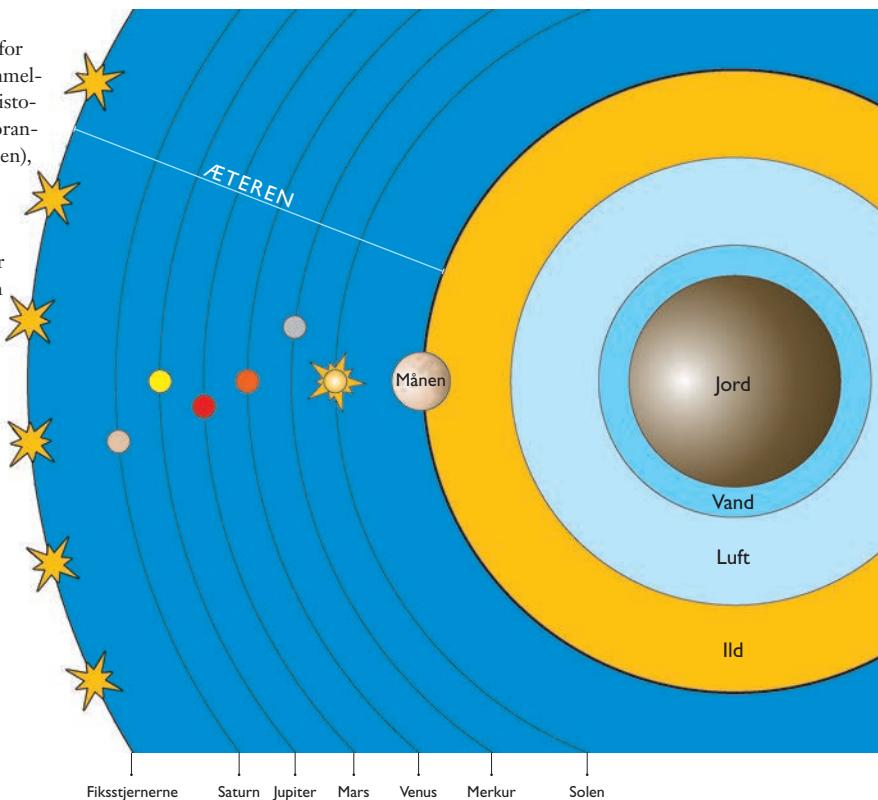
Aristoteles' opfattelse af naturen er på den måde ikke mekanisk som atomisternes. Den er teleologisk. Naturen har indbyggede formål, og det må med i beskrivelsen af den. Samtidig er naturen netop det, som ikke kan være anderledes. Aristoteles sondrer mellem på den ene side ting frembragt af mennesker, der godt kunne være anderledes, som f.eks. huse, og på den anden side naturgenstande, som f.eks. kålhoveder. Visse træk ved det frembragte kan ikke være anderledes, f.eks. at vinkelsummen i den trekant, der udgør husets gavl, er 180 grader. Andre ting kan være anderledes. De teoretiske videnskaber – fysik, matematik og metafysik – undersøger netop det, der ikke kan være anderledes.

For Platon er naturen, faktisk hele verden, frembragt som et kunst- eller håndværksprodukt. Det er derfor, der er klare sammenhænge mellem naturen, den menneskelige erkendelse af den og menneskets naturlige og rigtige måde at leve og være på. Naturerkendelsen har et moralsk formål hos Platon. Dette falder hos Aristoteles bort og erstattes af forestillingen om teoretisk erkendelse som et mål i sig selv. Dog arbejder de begge med en forestilling om, at der findes en naturlig tilstand for naturen, og at visse andre tilstænde er afvigelser. Det ideale eller naturlige er f.eks. cirkelbaner, ligesom hvile er mere naturlig end bevægelse, bl.a. fordi ting, der bevæger sig, naturligt falder til ro og ligger stille. Aristoteles arbejder ligesom Platon også med de fire elementer. Hvor de hos Platon indgår i relationer, der minder om talrelationer, er de for Aristoteles involverede i bevægelse og forandring. Da Aristoteles – igen ligesom Platon – er helt sikker på, at Jorden er det ubevægelige centrum i et univers, der består af Solen, Månen, planeterne og stjernerne, der alle bevæger sig i koncentriske cirkler, har han også brug for en cirkelbevægelse. Den er knyttet til "æteren", der dermed bliver det femte element – kaldet kvintessensen.

Æterens naturlige bevægelse er cirkulær. Jord og vands naturlige bevægelse er nedad – ned imod universets centrum, dvs. Jordens midte – fordi de styrer mod deres naturlige sted. Luft og ild styrer derimod naturligt opad. At et pendul holder op med at svinge, er naturligt, og at en sten falder til jorden, er også naturligt. Hvile og nærhed til universets centrum er naturligt for en sten, hvad enten den hænger i et pendul, eller den falder af sig selv.

Aristoteles' model for universet. Den himmelske sfære er hos Aristoteles en evig og uforanderlig verden (æteren), hvor stjernerne er fikserede i deres sfære, og hvor planeterne bevæger sig omkring Jorden i faste baner.

Der gjaldt således ét sæt regler i den jordiske sfære, dvs. den sublunare sfære, og et andet sæt evige regler i den himmelske.



Aristoteles lagde vægt på observation og sansning som udgangspunkt for erkendelse. Ud fra observationens resultater kunne man så foretage logiske slutsninger for at nå til yderligere erkendelse. Han ville skabe et begrebsapparat, som kunne redegøre for almindelige erfaringer. Men han ville også skabe udgangspunkt for løsning af de problemer, som naturalister, atomister og Platon havde arbejdet med. Forandring var således et centralt fænomen for ham. I forandring sås både ændring og konstans. Ting kunne opstå og forsvare, ligesom ting kunne ændres uden at opstå eller forsvare. En mand kunne tage på i vægt og blive fed. Det betød ikke, at manden forandredes på en sådan måde, at han ikke længere eksisterede. Peter og fede-Peter er samme Peter, den ene bare tynd, den anden fed. Men koppen, der går i stykker, er ikke længere en kop, den er blevet til en samling skår. Hvert enkelt skål er kommet til, og koppen er forgået. Aristoteles ville sondre mellem de egenskaber, som er nødvendige for, at noget er det, det er, og de egenskaber, som noget kan miste eller få uden "essentielt" at forandres. Koppen er en konkret genstand, og den har en række egenskaber, som gør den til det, den

er. Den kan være rund eller kantet eller ensfarvet eller prikket, det er ikke essentielt. Det essentielle er derimod det centrale uforanderlige, det som enten er eller ikke er. Koppen, der går i stykker, mister sin essens og holder dermed op med at være kop. Som kop er den delt i stof og form, hvor dens status som kop netop afhænger af dens form. For Aristoteles er erkendelse og videnskab knyttet til beskrivelse af tingenes essens, og til opdeling af dem efter form og essens. Samtidig kan man forklare, hvorfor tingene er, som de er, ud fra deres sammenhæng og formål i naturen. Arter, essenser og formål er de centrale aristoteliske begreber.

## Passer og lineal

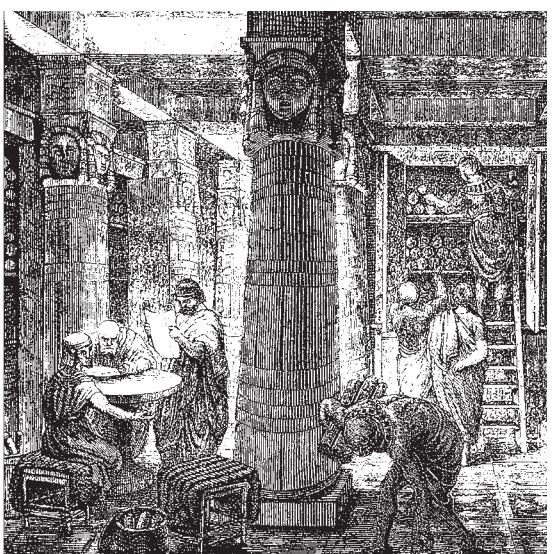
Platons akademi og Aristoteles' forskningsinstitution var de første forsøg på at organisere grupper af personer, der igennem diskussion og fælles arbejde producerede viden. De lå begge i Athen og var naturligt afhængige af byens muligheder og kultur. Efter Aristoteles' tid opstod to store videnscentre. Det ene var Museion (heraf "museum": viet til muserne) i Alexandria, der blev en forskningsinstitution med centrum i et gigantisk bibliotek – måske det største i antikken. Alexandria var på det tidspunkt en storby med ca. en halv million indbyggere, og det anslås, at man rådede over 5-700.000 bøger i form af papyrusruller. Det var formentlig næsten den totale produktion af viden, som antikken havde formået at frembringe.

En anden storby i antikken var Syrakus på Sicilien, der var af samme størrelse. I disse to byer samt senere i Rom levede eller virkede forskere, hvis resultater øvede indflydelse hundredvis af år frem, og hvoraf nogle står uantastede endnu i dag. Det var først og fremmest inden for felter som matematik, astronomi, geografi og medicin, at det skete. Men også fysik og teknik blev udforsket. De vigtigste forskere var Euklid (ca. 300 f.v.t.), Arkimedes (287-212 f.v.t.), Eratosthenes (ca. 276-194 f.v.t.), Hipparkos (ca. 190-120 f.v.t.), Heron (1. årh. e.v.t.) og Ptolemaios (ca. 100-170 e.v.t.). Disse forskere samlede og syntetiserede en lang række vidensområder og leverede baggrunden for forskning og tænkning i de næste mange århundreder. Euklid skabte med *Elementerne* en syntese af en stor del af den græske matematik, ligesom Ptolemaios med sin *Almagest* (der oprindeligt blev benævnt *He megiste syntaxis*, dvs. "den største skrift") skabte en syntese af den græske astronomi.

Det vigtigste element i denne videnskabelige tradition var arbejdet med at udvikle matematikken, især for at kunne anvende den til naturbeskrivelse. Denne forståelse af matematikken kom til at udgøre et vidensideal og for så vidt også et dannelsesideal fremover. Det var ikke først og fremmest en ide om forskning baseret på eksperimenter. Idelet var snarere deduktion. Det vil sige, at man tog Aristoteles' forestilling om opbygningen af en videnskab alvorligt. Det bedste eksempel er Euklids *Elementerne*, som faktisk blev brugt i geometriundervisningen helt op i det 20. århundrede. Det er et værk i tretten bøger, der behandler geometri, læren om proportioner, en del talteori samt rumgeometri. En matematisk teori er her bygget op omkring helt grundlæggende definitioner, f.eks. om punkter, linjer og planer. Et punkt er således "det, som ikke har nogen del", og parallelle linjer defineres som linjer, der, uanset hvor meget de forlænges i samme plan, aldrig mødes. Ud over definitioner arbejder Euklid med aksiomer og postulater. Aksiomer er almene principper gældende for flere vidensområder, f.eks. både for tal, linjestykker og



Romersk inskription om Tiberius Claudius Babillus (1. årh. e.v.t.), som bekræfter, at biblioteket i Alexandria må have eksisteret i det første århundrede e.v.t.

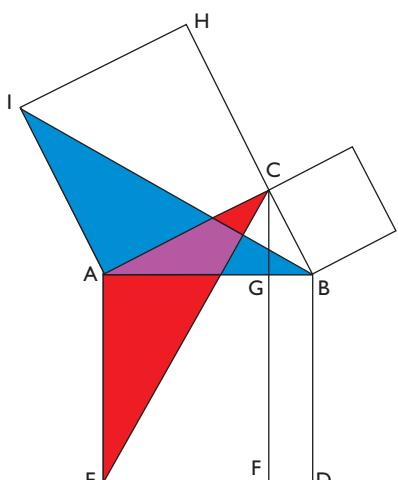


Her ses interiør fra biblioteket i Alexandria, som tegneren O. von Corven forestillede sig det. Oak Knoll Press.

arealer. Postulaterne er derimod specifikke for et vidensområde – man kan nærmest sige, at postulaterne definerer vidensområdet.

Euklid arbejder med fem postulater for geometrien og tillader kun to hjælpemidler ved udførelsen af geometriske konstruktioner: passer og lineal. Hans postulater siger af samme grund noget om, hvad man kan med passer og lineal. De to første siger, at man med en lineal kun kan forbinde to punkter med én linje, og at man med linealen kan forlænge en given linje vilkårligt langt. Det tredje siger, at med en passer kan man tegne en cirkel med en vilkårlig radius og centrum i ethvert punkt. Endvidere må Euklid have et vinkelbegreb, og han siger i sit fjerde postulat, at alle rette vinkler er ens. Den rette vinkel er Euklids standard. Det femte postulat er mere kompliceret og siger, at hvis man har to rette linjer, der skæres af en tredje på en sådan

måde, at de indre vinkler ved skæringen tilsammen er mindre end to rette, så vil linjerne på den side, hvor dette er tilfældet, mødes, hvis de forlænges tilstrækkeligt. Lidt uoverskueligt. Det svarer til en situation med to jernbaneskinner og en svelle. Hvis summen af de to vinkler, som skinnerne laver med svellen, er mindre end 180 grader, så vil skinnerne på et tidspunkt krydse hinanden. Dette sidste postulat er altid blevet meget diskuteret.



Euklids bevis af Pythagoras' berømte sætning fra bog 1 i *Elementerne*. Vi starter med den retvinklede trekant ABC. Dernæst konstrueres tre kvadrater på hver af trekantens sider. Fra C tegnes en linje ned til F, parallelt med BD, og der tegnes en linje mellem IB og EC. Trekanten ACE er kongruent med trekanten AIB, fordi  $AC=AI$  og  $AE=AB$  og vinklen  $CAE =$  vinklen  $IAB$ . Arealet for trekanten AIB er halvdelen af arealet for kvadratet AIHC, idet de har samme base AI og højden IH (en af Euklids definitioner), og arealet for trekanten ACE er lig halvdelen af arealet af rektanglen AGFE. Derfor må kvadratet ACHI have samme areal som rektanglen AGFE. På samme måde kan man vise, at det mindste kvadrat har samme størrelse som rektangen GBDF. Ergo må arealet af det største kvadrat være lig summen af arealerne af de to mindre kvadrater.

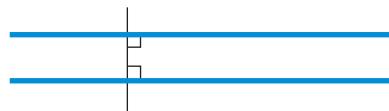
Som vi skal se i kapitel fire, bliver dette senere opgivet, i den forstand at man opdager, at man godt kan lave geometrier, som ikke indeholder dette postulat. Euklid opbygger nu sin videnskab deduktivt. Det vil sige at han fremfører en række påstande, kaldet teoremer, der derefter bevises ud fra logiske slutninger, som alene baserer sig på definitioner, aksiomer og postulater, samt selvfølgelig andre teoremer, der allerede er beviste. Euklid benytter i

sine slutninger en anden logik end den, Aristoteles havde formuleret, der havde syllogismen som den vigtigste slutningsform. Euklid anvender slutninger, som i samtiden var formuleret af stoiske logikere, såsom ”hvis A så B – A ergo B” og ”hvis A så B – ikke-B ergo ikke-A” samt ”A eller B – ikke-A ergo B”. Det er logiske slutningsformer, hvis gyldighed vi i dag anser for helt fundamental, og som netop finder deres klareste anvendelse i matematiske beviser.

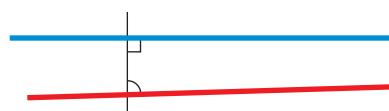
Euklid fremstiller konstruktioner og beviser, men han fortæller ikke, hvordan han har fundet frem til disse konstruktioner og beviser. Det er alene løsningen, der fremlægges, ikke løsningsprocessen. Det gør selvfolgeligt, at hans værk bliver svært tilgængeligt, og at det kun har mening som ”forskningsredskab”, hvis det fungerer i en levende sammenhæng, hvor nogen kan forklare hvordan og hvorfor, man gør, som man gør. Man sondrer således mellem analysen af et problem, som fører frem til dets løsning, og syntesen, der består i at bevise, at den foreslæde løsning faktisk også er en løsning. Analysen har en hypotetisk karakter: hvis sådan og sådan er givet, og vi skal nå frem til det og det, så kan man gøre sådan og sådan. Altså et forslag til en løsning. Beviset går så at sige den modsatte vej – her har man en løsning, og det skal så bevises, at der rent faktisk er tale om en gyldig løsning. Hvis vi f.eks. har tre linjestykker, hvor summen af længderne af de to altid er større end det tredje, så kan vi konstruere en trekant ud af dem. Men hvordan? Vi starter med et af linjestykkerne og tegner cirkler med de andre som radius fra det givne stykkets endepunkter. Det tredje punkt i den ønskede trekant – hvorfra der kan være flere – er så der, hvor cirklerne mødes. Det er analysen. Beviset er nu at indse, at den således frembragte løsning også faktisk er den netop søgte trekant. Det sker ved deduktion, altså logisk slutning, ud fra det givne.

Euklid skaber med sit logiske system orden i matematikken. Geometrien bliver fremstillet som et aksiomatiskt system. På en måde sluttede den græske videnskab med at sige, at netop sådan skal enhver teori være opbyg-

A



B



Skinnerne i A er parallelle, dvs. de to vinkler mellem skinnerne og svellen er præcis 180 grader. I B derimod er vinkelsummen mindre end 180 grader. Derfor vil skinnerne mødes et sted uden for bogens side, hvis man forlænger dem. Det virker umiddelbart som en selvfolgelighed. Men faktisk er det muligt at tænke en geometri, hvor dette ikke gælder, som vi vil se i kapitel fire (s. 163).

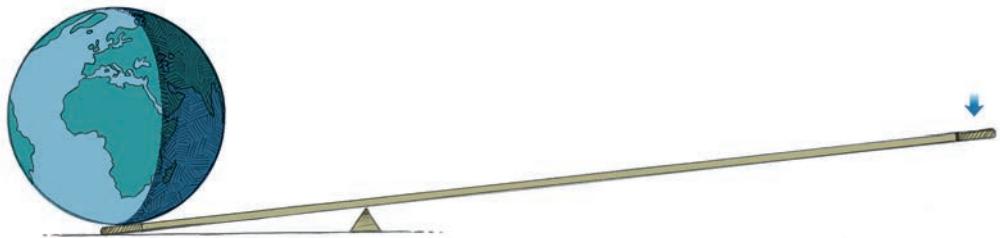
get for overhovedet at være en respektabel videnskab. Euklids *Elementerne* blev indbegrebet af klar og konsistent tænkning, et ideal for videnskaben og som sådan et dannelsesideal.

## Heureka for tankeeksperimentets sejr

Senere forskere forsøgte at anvende Euklids model for videnskaben på andre områder. Modellen var på mange måder en realisering af Aristoteles' ønsker for god videnskab, selvom der ikke var tale om den klassifikation af naturobjekter, han havde lagt op til. Arkimedes arbejdede med statikken, først og fremmest med problemer knyttet til begrebet "tyngdepunkt", og med hydrostatikken, hvor han formulerede den kendte arkimediske sætning om, at et legeme nedslænket i vand taber lige så meget i vægt, som vægten af det vand, den fortrænger. Arkimedes forsøgte som en af de første at fremstille en fysisk teori via opbygning af en matematisk model. Et væsentligt træk ved dette er, at man foretager visse idealiseringer for et få et problem til at fremtræde simplere og mere klart.

Et eksempel er hans vægtstang. Arkimedes er kendt for at have sagt, at hvis man blot gav ham et fast punkt, kunne han løfte hele Jorden. Hvis han havde dét samt en gigantisk vægtstang, ville han med blot sin egen vægt og en tilpas lang afstand til punktet kunne løfte en genstand af en hvilken som helst vægt. Ønsker man at bevise dette, må man tænke sig en model, hvor vægtstangen i sig selv intet vejer, og hvor den er helt ubøjelig. Sådanne vægtstænger findes ikke, men via antagelsen om dem kan man skabe en abstrakt model, man kan ræsonnere over. Det er klart, at løsningen også bliver ideel, dvs. at hvis man i praksis vil finde et balancepunkt, bliver man nødt til at tage hensyn til f.eks. vægtstangens egen vægt. Ikke desto mindre er Arkimedes' metode helt afgørende for muligheden for at koble matematiske ræsonnementer på praktiske problemer.

I perioden fra Platon og Aristoteles og frem til antikkens afblomstring gør matematik og astronomi også en lang række afgørende opdagelser og nyskabelser. Matematikeren Eudoxos (ca. 391-338 f.v.t.), der var tilknyttet Platons akademi, formulerede en teori om proportioner, der kunne anvendes på både tal og geometriske figurer. Netop disse to former for matematiske genstande havde Aristoteles understreget, at man skulle holde ude fra hinanden – de blev erfaringsmæssigt anset for inkommensurable størrelser. Eudoxos



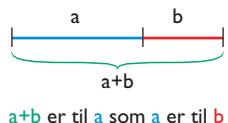
Arkimedes' vægtstangsprincip.

undgik konsekvent at anvende begreber om det uendeligt lille eller uendeligt store, og han udviklede en teori om proportioner, som overvandt forskellige problemer med de irrationale tal, som jo ikke kunne skrives på en endelig form, ved i stedet tale om forholdet mellem linjestykker. Eudoxos' teori om proportioner udgør formentlig femte bog i Euklids *Elementerne*, og var helt frem til midten af 1600-tallet en afgørende teori om matematiske sammenhænge, og den bidrog væsentligt til definitionen af reelle tal i 1900-tallet.

Eudoxos' arbejde var et led i matematikkens geometrisering, idet proportioner i stigende grad blev forstået som relationer mellem figurer snarere end som forhold mellem tal. Eudoxos fremlagde også en ny metode til bestemmelse af areal og rumfang for figurer og legemer, kaldet exhaustions-metoden. Den går ud på, at man systematisk opdeler figuren eller legemet i mindre og mindre stykker og dernæst ser på hvilket resultat, man så nærmer sig. Man kan med denne metode, som også Arkimedes benyttede, opnå gode resultater – resultater, som man siden hen kun kunne opnå med den såkaldte infinitesimalregning. Matematisk erkendelse udtrykkes altså som erkendelse om proportioner, om forhold imellem almene størrelser, og den repræsenteres først og fremmest geometrisk.

## Jorden placeres i centrum

Platon havde i sin dialog *Timaos* opstillet en model for verden med Jorden i centrum og stjernerne og planeterne kredsende udenom i forskellige lag af koncentriske cirkler. De forskellige niveauer bevægede sig med hver deres

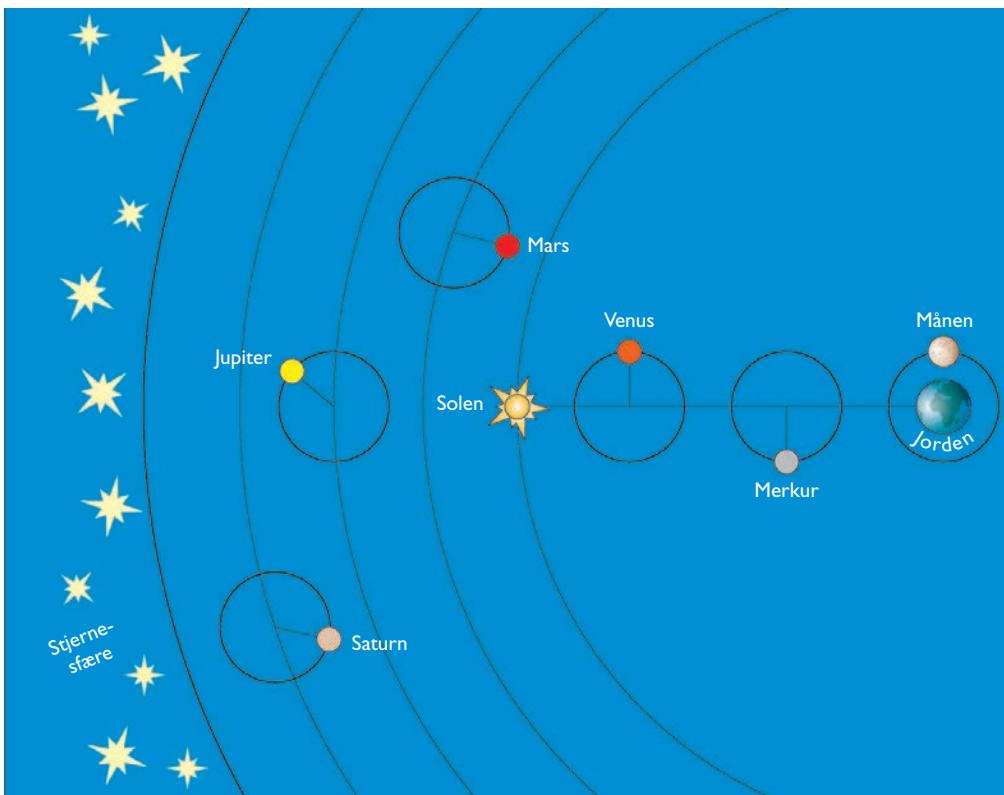


Ved at undgå irrationale tal og i stedet tale om forholdet mellem linjestykker bidrog Eudoxos væsentligt til geometriseringen af den græske matematik. F.eks. bad han sine venner om at markere det punkt på en linje, som de syntes gav den mest æstetiske deling. De fleste valgte et punkt i overensstemmelse med det gyldne snit – dvs. det irrationale tal  $\frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1,618033\dots$ , der kan udtrykkes som en relation, hvor summen af de to linjestykker  $a$  og  $b$  har samme størrelsesforhold til  $a$ , som  $a$  har til  $b$ .

konstante hastighed. Men ser vi på Solen, så har den to bevægelser. Den ser ud til at bevæge sig rundt om os her på Jorden én gang i døgnet, men den bevæger sig også rundt på himmelkuglen i ekliptika. Det samme gælder Månen, der jo også står op og går ned hver dag, men derudover udfører en i forhold til Solen lidt kompliceret bevægelse på himmelkuglen, ikke som Solen i løbet af et år, men i løbet af en måned. Det er derfra, vi har vores bestemmelser måned og år: SOL-år og MÅNed. Eudoxos modificerede nu Platons teori, så f.eks. Solens bevægelse baserede sig på to kuglesfærer, hvor den ene drejede inde i den anden, således at den ene foretog en komplet cirkelbevægelse i døgnet og den anden én pr. år. Månen måtte have tre sfærer, planeterne fire. Disse forestillinger overtog Aristoteles, og de kom til at danne basis for forståelsen af universet helt frem til 1600-tallet.

Men hvis man faktisk observerer Solen, Månen og planeterne, så passer observation og teori ikke sammen. Især planeterne opfører sig mærkeligt, af og til foretager de f.eks. baglæns bevægelser. Allerede Platon havde været opmærksom på denne uoverensstemmelse og krævet, at astronomerne skulle fremlægge en teori, der kunne ”redde fænomenerne”, dvs. kunne gøre rede for det faktisk observerede. Ydermere vidste man, at årstidernes længde ikke var ens. Tiden fra forårsjævndøgn til sommersolhverv er længere end fra sommersolhverv til efterårsjævndøgn. Det gav problemer, hvis Solen skulle bevæge sig med jævn hastighed i en cirkel med Jorden i centrum. Enten var bevægelsen ikke jævn, eller også var Jorden ikke centrum i Solens cirkel.

Omkring år 200 f.v.t. arbejdede flere teoretikere med disse problemer, og de fremlagde mere komplekse modeller af universet, herunder endda modeller, der placerede Solen i centrum af universet. Cirkelbevægelserne måtte enten være ”excentriske” i forhold til hinanden, eller der måtte være tale om flere sammensatte cirkelbevægelser. At der var tale om cirkelbevægelser, tvivlede ingen på. I studiet af disse modeller udviklede man i øvrigt en mængde ny matematisk viden, f.eks. inden for trigonometrien. Det blev Ptolemaios, der omkring 150 e.v.t. i Alexandria formulerede den afgørende opsummering af alle disse overvejelser i værket *Almagest*. Det indeholder tretten bøger og giver ikke blot en matematisk bestemmelse af modeller for universet, men også et utal af målinger og navne på stjernebilleder, dvs. en stor mængde empirisk viden baseret på observation af stjernehimlen. Ptolemaios opbygger sin model af universet med Jorden i centrum og Månen,



Solen og planeterne kredsende uden om i cirkelbaner bestående af yderligere cirkelbaner, såkaldte epicykler. Modellen kan sammenlignes med en kreds af mandlige dansere, der drejer rundt i én retning, og hvor der i en cirkel omkring hver mand danser en kvinde i modsat retning. Hvis vi nu ser på ét dansepar, så vil den kvindelige danser udføre en bevægelse svarende til en planets bevægelse. Hvis der i mændenes midte står en danseinstruktør, dvs. Jorden, vil vedkommende opleve kvindelige dansere, der bevæger sig både fremad – følgende de mandlige dansere – men af og til også modsat. Ptolemaios var klar over, at der fandtes en anden model, hvor danserne – dvs. Månen, Solen og planeterne – alle bevæger sig sammen, men hvor danseinstruktøren ikke står i kredsens centrum. Den var tidligere blevet fremsat af astronomerne og matematikerne Hipparkos og Appollonius (ca. 262-190 f.v.t.). Men Ptolemaios viste, at de to hypoteser redegjorde lige godt for de observerede fænomener, og i sidste ende valgte man at tro på, at Jorden var centrum for planeternes, Månen og Solens cirkelbevægelser.

Ptolemaios' model af universet med Jorden i centrum, Månen, Solen og planeterne kredsende uden om i såkaldte epicykler (se også s. 79).



En 1500-tals rekonstruktion af Ptolemaios' verdenskort ud fra hans *Geographia*. Næsten ulæseligt står ordene "Sinae" og "Serica" på højre side (Kina) og kæmpeøen "Taprobane" (Sri Lanka).

Som led i sit astronomiske arbejde udarbejdede Ptolemaios tabeller over, hvad vi i dag ville kalde trigonometriske funktioner, f.eks.

sinus-funktionen. Det lykkedes ham at lave endda meget nøjagtige tabeller ved hjælp af geometriske metoder, tabeller der først blev forbedret i slutningen af 1600-tallet, hvor man begyndte at anvende helt andre beregningsmetoder. Ptolemaios afsluttede ikke kun den antikke astronomi og leverede den videre til araberne, hvorfra den igen i 1200-tallet kom tilbage til Europa. Han arbejdede også med astrologi i værket *Tetrabiblos* samt med geografiske problemer, især problemer knyttet til udarbejdelsen af kort. Her er problemet at skabe en todimensional repræsentation af en tredimensional virkelighed. Det vedrører projektiv geometri, som Ptolemaios arbejdede med i sit værk om geografi, *Geographia* fra ca. 150 e.v.t. I dette værk fandtes også en lang række forsøg på at kortlægge både Afrika og Asien, og mange århundreder senere sejlede Columbus vestpå fra Portugal med netop disse kort ombord.

Euklid, Arkimedes og Ptolemaios var forskere, der udviklede teorier og skabte imponerende resultater. Vi tror selvfølgelig ikke på Ptolemaios' model

af universet, ligesom astrologi ikke længere anses for videnskab. Men de tre forskeres metoder er stadig i vidt omfang gældende. Det meste matematik foretages inden for den tradition, som Euklid kodificerede, og formulering og analyse af matematiske modeller er stadig en helt afgørende teoretisk aktivitet hos forskerne. Hvad, der er ændret, er først og fremmest, at man fra midten af 1600-tallet ikke længere tænkte geometrisk i den forstand, som f.eks. Arkimedes og Ptolemaios gjorde.

Man hører ofte, at den græsk-romerske kultur ikke var særligt orienteret imod det praktiske, forstået som eksperiment og teknik. Man orienterede sig i stedet imod matematik og teoriområder, der kunne formuleres matematisk. Det praktiske blev derimod forstået som det, der havde at gøre med etik, politik, samfundet og det enkelte menneskes liv. En række forskere gennemførte store empirisk orienterede projekter, f.eks. Aristoteles' og Teofrasts (ca. 370-285 f.v.t.) undersøgelser af henholdsvis dyr og planter, men de var baseret på forestillingen om, at man kunne finde generelle principper i tingene via observation. Ud fra sådanne generelle principper kunne man så foretage kategoriinddelinger, dvs. klassifikation. Men ser vi på efterladenskaberne fra antikken, må det stå klart, at man alligevel har rådet over en stor teknisk og organisatorisk ekspertise – ellers havde det været umuligt at opretholde en så udviklet og udbredt civilisation i så mange århundreder.

## Den antikke lægekunst

Især ét område var i hele antikken præget af et komplekst samspil imellem observation, praktisk handling og teoretisk refleksion: lægekunsten. Læg mærke til ordet, som adskiller sig fra nutidens ”lægevidenskab”. Var antikkens lægeaktivitet kunst eller videnskab? Det samme spørgsmål kan stilles til ”ingeniørkunsten”. Grækerne konstruerede skibe, fyrtårne, templer og komplekse instrumenter, romerne byggede akvæduktter, kupler og veje. Alle rede omkring midten af 400-tallet f.v.t. blev der nedskrevet en stor mængde lægelig viden i form af de hippokratiske skrifter, opkaldt efter Hippokrates (ca. 460-377 f.v.t.), grundläggeren af lægekunsten. Denne samling på omkring tres afhandlinger indeholder både konkrete sygehistorier og mere generelle overvejelser over sundhed og sygdom. De arbejder med forestillingen om, at sygdomme kan klassificeres, at der kan stilles diagnoser, og at sygdomme forløber lovmæssigt, dvs. at det er muligt at give en prognose for

et sygdomstilfælde. Grundlæggende blev sygdom anset for at være ubalance i det enkelte menneskes legemsvæsker. Disse væsker var blod, slim, gul galde og sort galde og var knyttet til den empedokleske og aristoteliske forestilling om de fire grundelementer. De var også knyttet til grundegenskaber som kulde og varme og til mentale egenskaber, "temperamenterne".

Primær kvalitet	Sekundær kvalitet	Element	Legemsvæske	Temperament
Tør	Kold	Jord	Sort galde	Melankolsk
Kold	Fugtig	Vand	Slim	Flegmatisk
Fugtig	Varm	Luft	Blod	Sangvinsk
Varm	Tør	ild	Gul galde	Kolerisk

Vigtigst i de hippokratiske forestillinger om sygdom var, at man anså sygdomme for at være naturlige fænomener, der havde naturlige årsager og skulle behandles derefter. Sygdom var ikke f.eks. en guddommelig straf, men skulle forstås og forklares på linje med alle andre naturfænomener. Man havde dog få behandlingsformer og lagde derfor størst vægt på forebyggelse, først og fremmest igennem forestillinger om et sundt liv. De hippokratiske læger var erfaringsbaserede forskere, der samlede og systematiserede store mængder viden. Den såkaldt hippokratische ed er et tidligt eksempel på en specifik professionsetik: lægen skulle sværge at bruge sin viden til at gøre godt og i det mindste ikke skade patienten.

Omkring år 200 e.v.t. levede den antikke lægekunsts absolut største udøver, Galen (ca. 129-199). Han var født i Pergamon i Lilleasien, men praktiserede i mange år i Rom, bl.a. som læge for kejser Marcus Aurelius (121-180 e.v.t.) Han forsøgte at skabe en egentlig lægevidenskab baseret på de aristoteliske forestillinger om, hvad en videnskab skulle være. Og han foretog dissekctioner og eksperimenter, dels for at opnå konkret viden om kroppen og dels for at påvise, at tidligere hypoteser eller teorier var forkerte – f.eks. teorien om, at urinlederne ingen funktion havde. Det betyder dog ikke, at han havde en korrekt forståelse af anatomi eller fysiologi. Han videregav en lang række betydelige misforståelser af kroppens indretning og funktion, men leverede også en lang række observationer, der stadig anses for korrekte.

## • Den hippokratiske ed

Idet jeg kalder lægeguden Apollo, Asklepios, Hygæa og Panakeia til vidne samt alle guder og gudinder, sværger jeg at ville holde efter evne og bedste skøn denne ed og kontrakt.

Jeg vil agte den, der har lært mig kunsten, lige med mine forældre og dele mit brød med ham og, når han behøver det, yde ham hans fornødenheder ... Diætetiske forskrifter vil jeg benytte til de syges gavn efter evne og bedste skøn og hindre dem, der kan volde skade og fortræd. Selvom jeg opfordres dertil, vil jeg ikke udlevere nogen dødelige gifte eller give noget sådant råd, ej heller give nogen kvinde fosterfordrivende midler.

Jeg vil bevare mit liv og min kunst rent og frømt ... I de huse, hvor jeg kommer, vil jeg

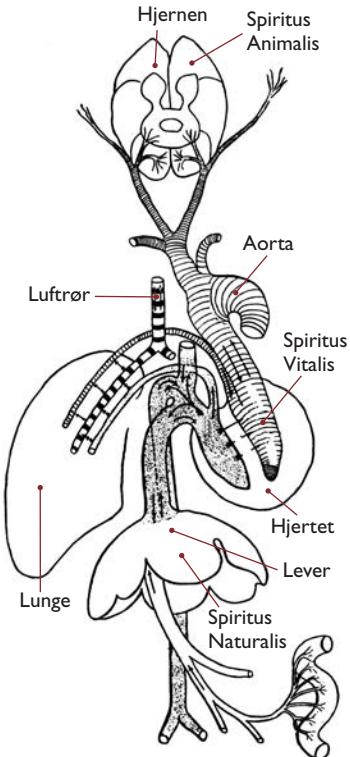
komme til gavn for de syge, idet jeg holder mig fjern fra al bevidst uret og forførelse både i andre henseender og i kønslig, både over for kvinder og mænd, frie og slaver. Hvad jeg ser og hører i min praksis eller udenfor praksis i menneskenes liv, hvad som ikke bør komme ud, det vil jeg fortie, idet jeg anser sligt for embedshemmelighed.

Når jeg handler efter denne ed og ikke bryder den, så lad det forunde mig at nyde godt både af mit liv og af min kunst, idet jeg nyder anseelse hos alle mennesker til evig tid; men overtræder jeg den og bliver medsvoren, da times der mig det modsatte heraf.

*Ca. 400 f.v.t., oversat af J.L. Heiberg.*

Det vigtigste hos Galen er imidlertid, at han som en af de første arbejdede i et tæt samspil mellem teori og observation: han efterprøvede påstande med eksperimenter og fremsatte teorier på baggrund af systematisk observation. Han kunne f.eks. påvise en lang række sammenhænge imellem rygmarven og lammelser i legemsdelene, og han kunne også påvise, at forstanden måtte være lokaliseret i hjernen snarere end i hjertet, som Aristoteles ellers havde hævdet. Han kodificerede den hippokratiske teori om sammenhængen mellem elementer, legemsvæsker og temperamenter, og han fremførte en teori om, at der fra hjertet udgik en særlig livsånd, der sivede rundt i kroppen og holdt den i live, hvilket var en grundtanke inden for den såkaldte vitalistiske strømning.

Galen var praktiserende læge og kirurg og gav mange praktiske anvisninger, f.eks. på hvordan man skulle sætte en skulder, der var gået af led, på plads. Han mente dog også, at læger skulle have en grundig filosofisk skoling. De hippokratiske læger var underlagt den hippokratiske ed og måtte ikke udføre kirurgiske indgreb. Hans forestillinger om det filosofiske grundlag for lægegerningen var senere med til at adskille den i en henholdsvis praktisk og en teoretisk del. Læger var rene teoretikere, og dem, der beskæftigede sig med det praktiske, blev der generelt set ned på. Først i 1800-tallet blev denne splittelse mellem det teoretiske og det praktiske ophævet igen.



Galen mente, at kroppen bestod af tre interne systemer. Hjernen var udgangspunktet for nervebanerne og styrede de motoriske funktioner, hjertet var udgangspunkt for pulsårerne, og leveren var udgangspunkt for veneerne. De tre systemer var ikke uafhængige, men i konstant udveksling.

Generelt var Galen imod enhver mekanisk eller materialistisk forklaring af de fysiologiske processer. Han så snarere legemer som formålsbestemte og troede på en form for overensstemmelse og harmoni mellem de levende organismer og universets grundlæggende principper. På disse felter var han helt på linje med Platon og Aristoteles. Det betød også, at han senere kunne accepteres af kristendommen, fordi hans tanker kunne ”oversættes” til at betyde harmoni mellem skaberens og det skabte – mennesket som skabt i Guds eget billede.

## Teori og praksis

Antikken havde skabt forskerakademier og biblioteker med avancerede og højt organiserede undervisningsinstitutioner. Men hospitalet skabtes ikke i antikken, det kom først med kristendommen. Universitetet som institution opstår først i middelalderen, selvom der er tilløb i slutningen af antikken, hvor man forsøger at bevare den lærdom og kultur, der er i fare for at gå tabt efter Romerrigets opløsning.

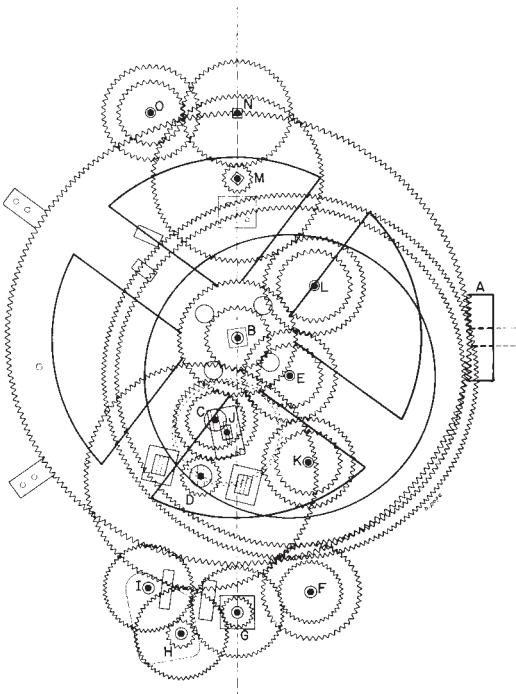
Siden middelalderen har teknologi spillet en helt central rolle i Europas historie. Viden har været viden, der skulle anvendes i praksis. Både grækere og romere må have haft betydelig teknisk indsigt, men meget lidt af den er blevet bevaret for eftertiden. Antikken rådede over megen teknologisk viden, og man udførte eksperimenter og anvendte matematik i beskrivelsen af naturen. Romeren Marcus Terentius Varro (116-27 f.v.t.) forsøgte at etablere et pensum i den romerske undervisning, der ikke kun indeholdt matematik, filosofi og retorik, men også lægevidenskab og arkitektur. Arkitektur dækkede over alt, der skulle til for at bygge bygninger, indrette byer med vandforsyning, gader og generel infrastruktur. Pythagorærerne havde allerede arbejdet med matematiske beskrivelser af simple redskaber, noget der genfindes hos Arkimedes. I Alexandria havde

man i lange tider arbejdet med fremstilling af komplekse maskiner, der havde karakter af automater. En kendt forsker er Heron, der levede i Alexandria i det første århundrede e.v.t.

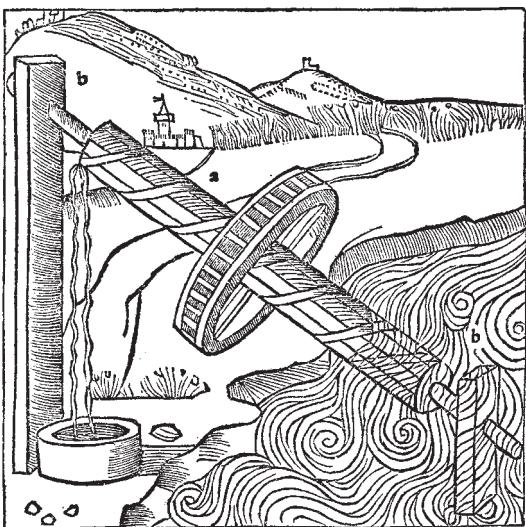
Han arbejdede med konstruktion af maskiner og opdagede mange fysiske forhold knyttet til damp og til luftens tryk. Han udviklede endda den første dampmaskine, som han viste kunne bruges til at åbne store døre med, ligesom han udviklede metoder til måling, især landmåling. Mekanik er på den måde både en teoretisk og en praktisk disciplin, ligesom astronomien er det – der skal jo også laves kalendere og holdes tjen på tiden.

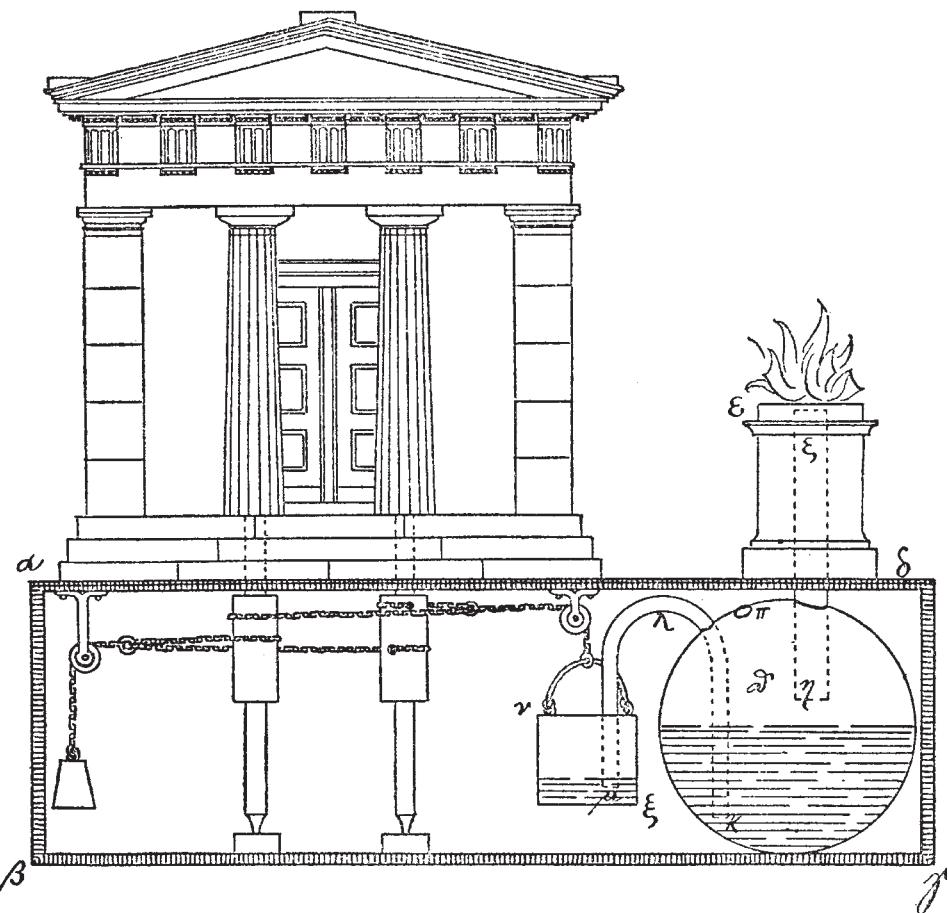
Det værk, der giver den bedste indsigt i antikkens tænkning om teknologi, er arkitekten og ingeniøren Vitruvius' (1. årh. f.v.t.) værk *Om Arkitekturen*. Her præsenteres en lang række opfindelser og en stor mængde teknisk og kunstnerisk viden. Vitruvius er

"Vandskruen" blev opfundet af Arkimedes i det 3. århundrede f.v.t. Den kan løfte vand fra floder og brønde og blev bl.a. brugt i forbindelse med overrisling. Vandskruen bruges stadig inden for moderne landbrug og industri, og dens form er uændret den dag i dag. Vitruvius beskrev indgående dens principper i *Om Arkitekturen*. Her gengivet fra Giovanni Giocondos (ca. 1445-1525) Vitruvius-udgave, udgivet 1511 i Venedig.



Skematisk gengivelse af den såkaldte Antikytheramaskine, der i 1900 blev fisket op i nærheden af Kreta. Denne antikke maskine er et eksempel på et kompliceret gearsystem. Den konkrete brug er ikke kendt, men man mener, der er tale om en art regnemaskine af astronomisk-horoskopisk art. Gengivet fra Derek de Solla Price: *Gears from the Greeks*, 1975 . The American Philosophical Society.





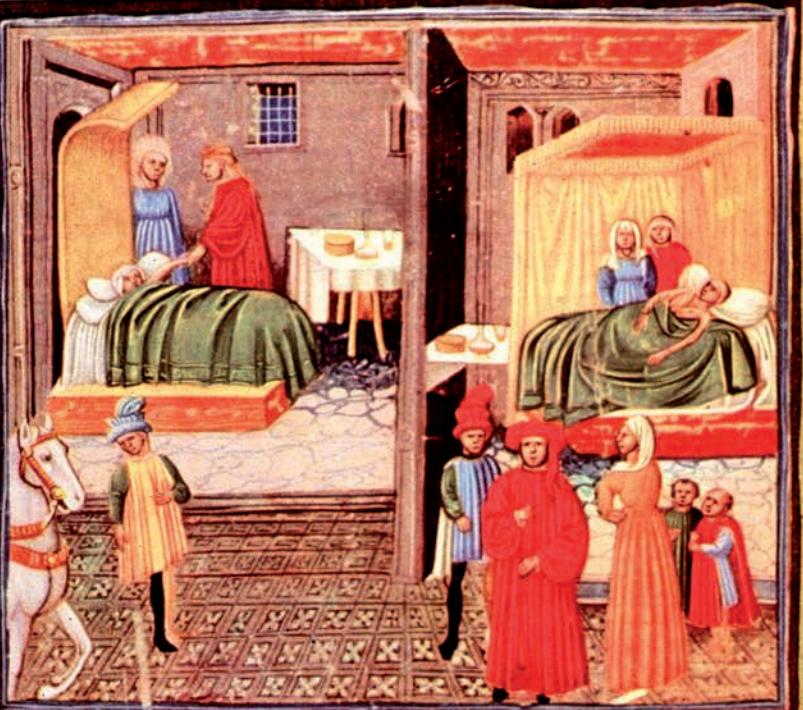
Rekonstruktion af en af Herons maskiner, hvor dørene i et tempel åbnes som på magisk vis ved hjælp af ild og damptryk. Illu-Grafia.

dog stadig i høj grad påvirket af ideen om, at enhver gyldig viden skal udtrykkes matematisk,

og helst geometrisk. Geometrien hjalp ikke kun med at lave planer og sikre rette vinkler, lodrette vægge, vandrette gulve osv., den blev også koblet med æstetikken og foreskrev f.eks., at bygninger skulle være symmetriske for at være smukke.

Hvis de havde haft fantasien, kunne grækerne og romerne have konstrueret det første mekaniske ur, ligesom Heron og hans fæller i Alexandria kunne have lavet det første damp-tog fra Delfi til Athen samt en hel række andre komplicerede maskiner og køretøjer. De arbejdede f.eks. med mekanismer, hvor vægte drev et mekanisk værk, og de rådede over komplicerede gear-systemer, og Vitruvius beskriver f.eks. et kompliceret system til måling af vejlængder baseret på gear og et næsten automatisk tælleværk – en antik kilometertæller.

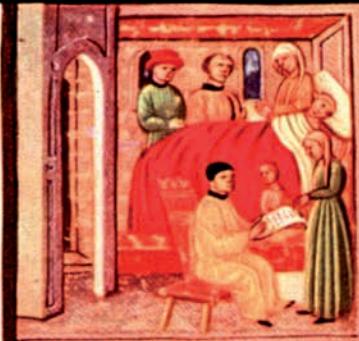
Alligevel er antikken karakteriseret ved en tydelig opdeling i teori og praksis. Måske skyldes det antikkens traditionelle brug af slaver, der har dæmpet behovet for teknologi, eller troen på, at alt, hvad der er væsentligt og værdigt for mennesket, ligger i tankens magt, og ikke i materiens beskaffenhed. I hvert fald var det først efter middelalderen, at der udvikledes en egentlig eksperimentel og teknologisk tradition og kultur, som naturligt oversatte den teoretiske viden til praktiske redskaber.



**רַכְבָּר**

הַרְכָּבָן בְּסִמְךָ הַקָּאנוֹן

לְאַכְזֵה בְּקָרְחוֹת



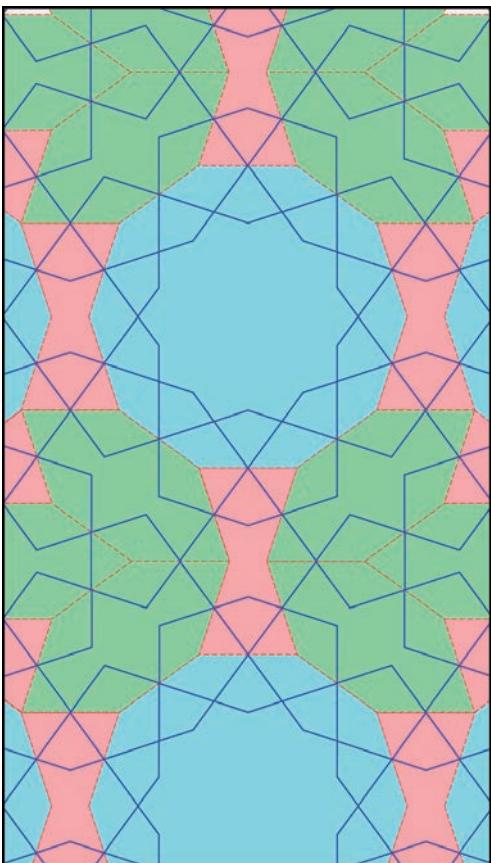
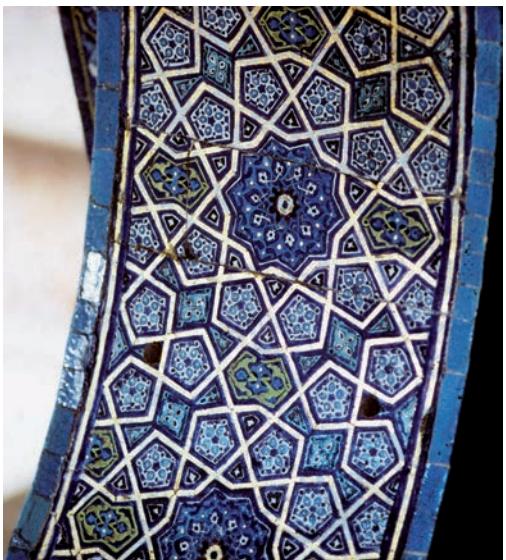
לְאַכְזֵה בְּקָרְחוֹת  
הַרְכָּבָן בְּסִמְךָ הַקָּאנוֹן  
לְפָנֵי כָּסֶר סִמְדָּר וְכָבָב

# 2 Katekismus og kulturudveksling

Den sidste romerske kejser afsættes i år 476. Biblioteket og museet i Alexandria var lukket nogle år før, og Platons (427-347 f.v.t.) akademi i Athen – den længst eksisterende antikke skole – nedlægges også. Kristendommen og dens mænd opfatter disse institutioner som fjendtlige, som spydspidser for hedenskabet. Den sidste leder af biblioteket i Alexandria var den kvindelige matematiker Hypatia (370-415). Hun blev afsat. Nogle få gejstlige forsøgte at samle den viden, som ellers risikerede at gå tabt. I udkanten af det tidligere romerske rige fortsatte bevarelsen af den antikke arv, bl.a. i en række kristne samfund i Syrien. Via disse kom den nu mest ekspansive kultur – den islamisk-arabiske – i tæt kontakt med antikkens viden og filosofi. Der oprettedes lærdoms- og forskningscentre i den arabiske verden, f.eks. i Bagdad, Cairo og Cordoba i Spanien, der var arabisk på det tidspunkt. I disse centre bevaredes og viderefördes den antikke tænkning.

I tiden efter år 1000 begyndte en voldsom oversættelsesaktivitet fra græsk og arabisk til latin. I løbet af nogle århundreder reestablisheredes stort set hele den antikke forskningsresultater i Vesten. Man havde indtil da kun haft kendskab til enkelte af Platons dialoger og en meget lille del af Aristoteles' (384-322 f.v.t.) forfatterskab, ligesom en stor mængde af den græske matematik og astronomi havde været glemt. Først og fremmest Aristoteles, men også Euklid (ca. 300 f.v.t.), Ptolemaios (ca. 100-170 e.v.t.), Galen

Den persiske filosof og videnskabsmand Ibn Sina, kendt som Avicenna i Vesten, skrev hovedværket *Den medicinske kanon* i 900-tallet, hvori han samlede al tilgængelig viden om den græsk-arabiske medicin. Bogen var et referenceværk i mere end 500 år og indeholdt en række nye tanker, bl.a. at tuberkulose og dysenteri var smitsomme, og at sygdomme kunne spredes gennem vand. I dette billede fra kanonen repræsenteres de tre grundlæggende trin i lægebesøget: eksaminationen af patienten, konsultationen med de pårørende og udstedelsen af et medikament eller en behandling.  
National Library of Medicine, USA.



(ca. 129-199) og mange andre forskere blev nu tilgængelige for den tænkende og latin-læsende del af samfundet – dvs. først og fremmest dem, der var uddannet inden for kirken. Med fremkomsten af bogtrykkerkunsten i slutningen af middelalderen kunne man mangfoldiggøre og efterhånden distribuere hele den klassiske lærdom. Således var Europa omkring år 1500 tilbage på omdrejningshøjde med situationen fra før, man ”lukkede ned” for den antikke verdens forskning.

Men der var ikke kun tale om retablering. Også værker af arabiske forskere og forfattere blev gjort tilgængelige. De bragte i flere tilfælde afgørende nyt med sig, ligesom kontakten til den muslimsk-arabiske forskning på mange måder blev afgørende for den videre udvikling af den vestlige tænkning og

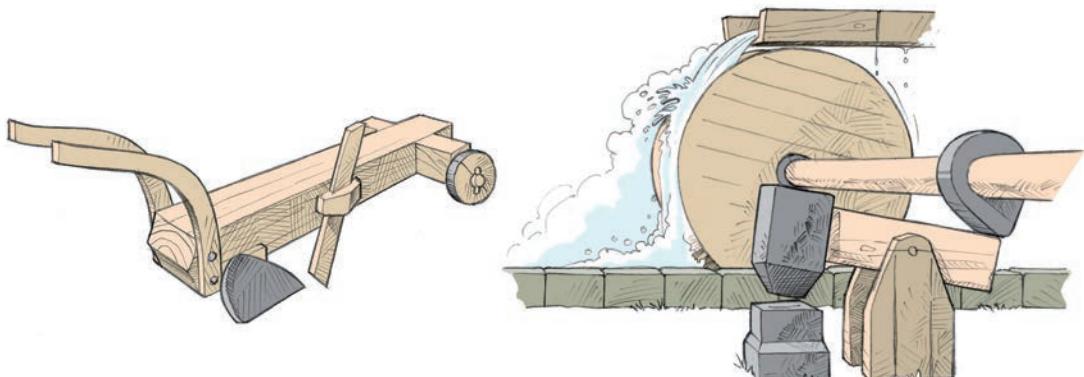
*Øverst:* På grund af islams billedforbud var arabisk arkitektur og dekorationskunst stærkt abstrakt og baseret på avanceret geometri. Blandt andet kunne man lave ”kvasiperiodiske” mosaikker ved at bruge et sæt bestående af fem såkaldte *girih*-tegl. Her ses en kvasiperiodisk struktur fra en buegang i den ottomanske grønne moske i Bursa (der nu ligger i Tyrkiet) fra 1424. Foto: W.B. Denny.

*Nederst:* Her ses Bursa-mosaikken i skematisk afbildning. Den matematiske kompleksitet i disse kvasiperiodiske strukturer blev først (gen)opdaget af den engelske matematiker Roger Penrose (f. 1931) og hans Penrose-tegl i 1973. P.J. Lu and P.J. Steinhardt: ”Decagonal and Quasicrystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture”, *Science* (2007).

forskning, især inden for medicin og matematik. Her kan f.eks. nævnes indførelsen af et talsystem baseret på nullet – det talsystem, vi har i dag, og som ofte benævnes “arabertallene”.

## Håndværkerglæde og opdagertrang

Navnet ”middelalderen” betegner en tidsalder mellem to andre. Spørgsmålet er, om det er retvisende at reducere perioden til en form for mellemstilstand? Svaret er på mange måder nej. Det er klart, at religion og religiøse institutioner dominerede tiden fra det 5. århundrede og frem til ca. år 1500. Meget fra den periode har vi gjort op med, nærmere betegnet alt det, der danner baggrund for betegnelsen ”den sorte middelalder”. Nogle af de mest sigende udtryk for middelalderens kultur er de enorme gotiske katedraler. Men netop disse viser også en anden side af middelalderen: den enorme tekniske formåen. Ser vi på vores situation i dag, er der en række af



Romerne havde brugt en primitiv oksetrukket Y-formet plov, der nærmest kun skrabede i overfladen. Med opfindelsen af den nye plov mellem år 1100-1300 øgedes kornproduktionen til mere end det dobbelte. Den rullede på to hjul og havde et tykt og skarpt plovskær af jern, som borede sig dybt ned i jorden. Bag plovfuren fulgte et let vinklet muldbräat, som vendte jordbunden. Det muliggjorde drening og luftning såvel som godskning. Desuden blev øksen erstattet af heste, der kunne ploje hurtigere. En familie kunne med den nye teknologi ploje langt større jordområder end tidligere, og for hver fire skæpper færdig hvede behøvede man kun at bruge én enkelt som såsæd.

Faldende vand frigør en enorm mængde energi. I middelalderen opfandt man vandmøller, hvis rotation kunne bruges til at kvarne korn eller udføre andre former for arbejde. På det roterende hjul var monteret lange aksler, hvor diverse mekanismer kunne konvertere rotationen til andre former for bevægelse. En af de mest nyttige opfindelser var f.eks. et simpelt ”bump” på et roterende hjul, som det kan ses her. Hver gang hjulet drejer én omgang, kan bumpet skubbe en stang op – og f.eks. få en tung jernhammer til at hamre på en ambolt. Vandkraften og denne lille opfindelse var en væsentlig baggrund for den voksende velstand i middelalderen, og det begyndte at blive anset for enhver bondes pligt at udnytte naturens kræfter til nyttigt arbejde.



På middelalderens hospitaler kunne man kun lave grove operationer såsom amputitioner og sårbehandling. Man brugte vin til at desinficere og opium til at bedøve. Men pile-såret i Kong Harald II's øje ved slaget om Hastings i 1066, der cementerede normannernes erobring af England, kunne man ikke hele. Kong Harald ses yderst til højre . Bayeux-tapetet, omkring 1070.

vindmøller af ny konstruktion, plove, nye typer skibe, nye navigationsinstrumenter, kanoner, stigbøjler og ikke mindst bogtrykkerkunsten.

Antikken havde i høj grad været kendetegnet ved en adskillelse af det manuelle og tekniske fra det teoretiske. Denne adskillelse fortsætte for så vidt i middelalderens skoler, men i bl.a. klostre og håndværkerlaug begyndte man også at koble teori og praksis. Livets mening i middelalderen var ikke kun teoretisk kontemplation og refleksion, heller ikke alene religiøs hengivenhed eller mystisk ekstase. Livets mening var også knyttet til den konkrete aktivitet. Man læste antikke værker om lægevidenskab, men man oprettede også hospitaler og forsøgte at forbedre fortidens lærdom. Man omlagde landbruget, så det gav bedre udbytte, og forbedrede redskaberne. De materielle fremskridt var væsentlige, og idealet for viden var ikke kun at være afsløring af universelle sandheder og universets dybeste hemmeligheder – viden måtte også gerne

vores centrale forestillinger om verden og fænomenerne, som vi har arvet fra middelalderen. Man siger tit, at i middelalderen opfandt man opfindelsen. Fra omkring år 1000 startede en periode med et utal af nye tekniske landvindinger: uret, brillerne, vand- og

være nyttig. Middelalderens glæde ved opfindelsen, ved løsningen af praktiske problemer, har præget den vestlige kultur lige siden. Middelalderen forbindes ofte med ørkesløse disputationer – diskussioner om antallet af himle, om hvor mange enge, der kan sidde på et knappenålshoved osv. – men der er også en anden side: glæden og dygtigheden omkring det praktiske og det tekniske.

På trods af en efter nutidens standard meget ringe viden om verdens indretning var det muligt i middelalderen at starte den proces, vi kalder ”opdagelserne”. Man rejste bl.a. over land, men det store gennembrud var, at man med nye navigations- og måleinstrumenter og nye skibstyper kunne gennemføre endog meget lange rejser over havet. De opdagelsesrejsende var munke og købmænd. De bragte nye instrumenter og opfindelser tilbage, ligesom de skrev om deres oplevelser. Den kendteste er den venetianske købmand Marco Polo (1254-1324), der rejste til Kina. Senere kom selvfølgelig Christoffer Columbus (1451-1506) og opdagelsen af Amerika. Opdagelserne og mødet med fremmede kulturer havde store økonomiske, politiske og tekniske konsekvenser. Det er i høj grad dét, som historien siden middelalderen handler om. Grækerne og romerne rejste også, ligesom de skrev om deres opdagelser. De koloniserede også. Romerne var dominerende i århundreder i Frankrig og meget store dele af England. Men grækerne og romerne var dybest set ikke interesserede i andre kulturer end deres egen, og holdningen var, at de selv var civiliserede, mens de andre var barbarer. Middelalderens opdagelsesrejsende fulgtes af kristne missionærer. De kristne ville ”udrydde” eller ”bekæmpe” muslimerne, sådan som det skete i Spanien, hvor man ved slutningen af middelalderen havde fået uddrevet eller konverteret det muslimsk-arabiske samfund. Men middelalderen udviste også kontakt og samleven. De normanniske fyrster på Sicilien var således sponsorer for kulturelle institutioner, hvor muslimsk-arabisk, jødisk og kristen forskning og tænkning mødtes, og en række store muslimsk-arabiske tænkere og forskere – bl.a. Avicenna (Ibn Sina på arabisk, 980-1037) og Averroes (Ibn Rushd, 1126-98) – fik enorm indflydelse i Europa.

## Etableringen af universiteterne

På denne tid opstod der i Vesteuropa også en række institutioner, der ligede de antikke forskningsinstitutioner. Dog adskilte de sig på en række punkter. Først og fremmest var de afhængige af kirken, hvis eksistens og

dominans satte rammerne for deres udfoldelse. Skoler i direkte tilknytning til kirken kaldtes i Danmark katedralskoler. Den vigtigste institution, der opstod, var dog universitetet. Universitetet skulle primært uddanne præster, læger og jurister. Selvom antikkens forskningsinstitutioner ikke havde uddannet folk til bestemte embeder, var indholdet i middelalderens uddannelsesinstitutioner i høj grad bestemt af antikkens lærdom, filosofi og videnskab.

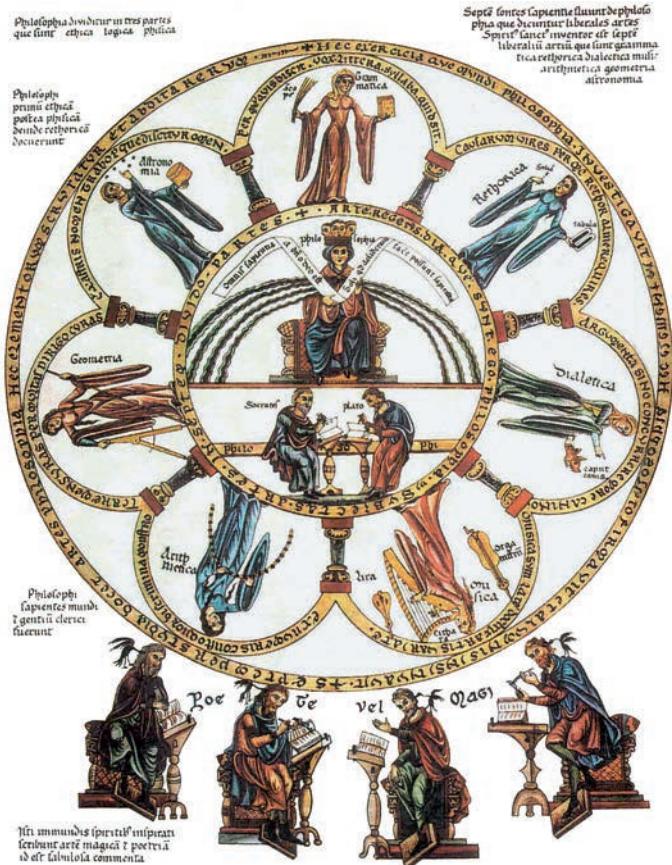
Det, man læste, var først og fremmest de bevarede og nyopdagede antikke værker, og det var herfra, at man fik både viden og et begrebsapparat. Teologien var præget af antikkens filosofi, lægestudiet af Galen og den vide-reudvikling, som hans tanker havde gennemgået hos araberne, og juraen var præget af en sammentænkning af romerretten og kirkelig ret. Den kirkelige ret havde netop udviklet sig under påvirkning af romerretten, men havde også udviklet sig på nye måder, især i forbindelse med de problemstillinger, som en organisation som kirken bød på.

Langsomt opstod to magtformer uden om kirken. Den ene var den verdslige magt i form af kongedømmet. Det var en type suveræn magtinstans, der ikke som sådan var afhængig af kirken, og der var altså ikke tale om ”kirkefyrster”.



Skolen i Bologna nævnes ofte som et af de første europæiske universiteter. Her underviste bl.a. Henricus de Alemania (1300-tallet) fra katedret. Her ses han afbildet af Laurentius de Voltolina, ca. 1360. Bemærk den allerede dengang varierende grad af interesse fra tilhørerne.

“De syv frie kunster”, fra Hortus deliciarum af Herrad von Landsberg (ca. 1130-95), fra 1180. Øverst ses grammatikken, og derpå kommer (med uret): retorikken, dialektikken, musikken, aritmetikken, geometrien og astronomien.



Den anden var det uafhængige universitet, der igen selvfølgelig ikke kunne tænkes uafhængigt af den kristne religion, men som ikke var underlagt kirken – og som ligesom kongemagten også tit lå i bitter strid med kirken. Universiteternes uafhængighed var da også i høj grad en følge af den verdslige magt: det var kongemagten, der sikrede selvstændigheden i forhold til kirken.

Universitetet var organiseret med ét fakultet, der leverede en grundlæggende uddannelse i de såkaldte “frie kunster”, dvs. de klassiske dannelsesfag organiseret i *trivium* og *quadrivium*. *Trivium* var de discipliner, der havde med redskaber til erkendelse at gøre (grammatik, logik og retorik), og *quadrivium* var de afgørende videnskaber (geometri, aritmetik, astronomi og musik). Derudover var der tre overordnede fakulteter, der uddannede egentlige professionelle – læger, jurister og teologer. De studerende og lærerne havde magten, i stigende omfang lærerne, og forestillingen om en selvstyrende organisation opstod. Der var for så vidt ikke tale om forskning,



Ifølge Aristoteles består en komplet beskrivelse af et naturligt fænomen af fire årsager: den første årsag er den materielle årsag (*causa materialis*), dvs. substratet, hvormed fænomenet er frembragt. Den anden er den formelle årsag (*causa formalis*), den tredje er den bevirkende årsag (*causa efficiens*), og den fjerde er formålsårsagen (*causa finalis*). Tager man en skulptur som eksempel, er marmorstenen den materielle årsag, skulpturen den formelle årsag, skulptøren den bevirkende årsag, og ønsket om at udsmykke templet er formålsårsagen (se også s. 35).

men først og fremmest om at man forelæste og docerede, bestemte lærebygninger, som så i øvrigt blev sat til diskussion.

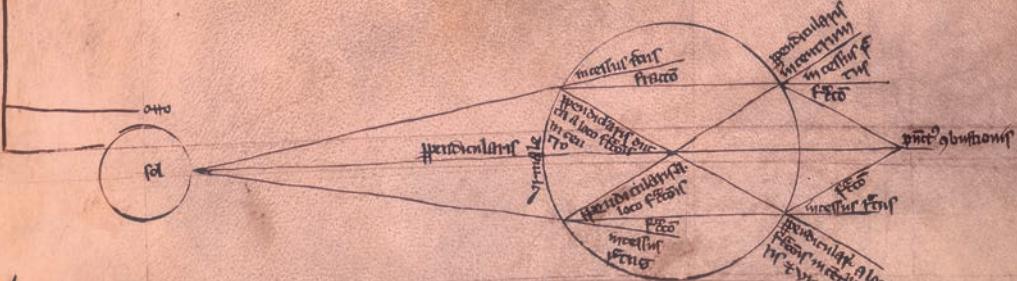
Der dannede sig en forestilling om det, vi stadig kalder akademisk frihed: alt kunne diskuteres, og der var ikke nogen højere autoritet, der kunne afgøre, hvad der var sandt eller falskt. Det måtte afgøres ved undersøgelse af de foreliggende argumenter. Universitetet

var dog autoritetstro i den forstand, at en af de foretrukne akademiske generer var kommentaren. Ved at kommentere et værk af Aristoteles kunne man udfolde sine egne synspunkter, men altid i dialog med autoriteten. Autoritten var ”autoren”, dvs. forfatteren. Kommentatoren var sekundær og tog udgangspunkt i, hvad der allerede forelå af synspunkter og standpunkter.

Lærere og studerende kunne i stort omfang fungere ved forskellige universiteter, da man overalt arbejdede på latin – datidens universelle sprog. Til gengæld var man stærkt hæmmet af, at alt skriftligt materiale måtte fremstilles i håndskrift, typisk af mange skrivere, der skrev efter fælles diktat.

Universitetet udviklede altså ideen om et selvstyrende og selvregulerende samfund, der, inden for visse rammer, var indstillet på at søge sandhed og på at uddanne professionelle, der via deres uddannelse kunne arbejde for samfundet. Fra midten af 1200-tallet skete det i stadigt stigende omfang på basis af et studium af Aristoteles’ skrifter. Det var Aristoteles, der blev udgangs-

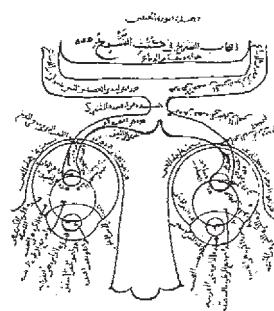
con. Et quod magi aperte ostendit hunc magorum dectum cum ad. utrumque. Quidam  
tunc magorum distin' a. etrouali paleo circuimq; cù frusti i. in ditionat. linea  
nisi quis opere. sì. ut frusti i. linea nivis. in ea est. pugnacis pugno. q; est  
susp capo nivis. sive i. in loco denuo eductus est. et natans in aqua i. pugna'  
toco minore. q; actus pugnae radu q; sit suspicere q; debet ut aet



punkt for den grundlæggende forståelse af, hvad intellektuel aktivitet inden for filosofi og videnskab er for noget. Aristoteles' fire årsager dannede den teoretiske model for, hvordan sund videnskab skulle se ud. Først langt senere, i romantikken, blev universitetet forstået som en institution, der kunne tjene helt andre formål, f.eks. etableringen af national identitet.

Ved visse universiteter specialiserede man sig i bestemte fagområder. Pariser-universitetet var bredt favnende, mens man i Bologna specialiserede sig i jura, i Salamanca og Montpellier i medicin osv. I Oxford optrådte i midten af 1200-tallet også en række forskere, der forsøgte sig med eksperimentel videnskab, dvs. forskning, der ikke kun analyserede andres tekster eller forsøgte at tænke sig frem i dialektiske processer. Det var bl.a. Robert Grosseteste (ca. 1170-1253) og Roger Bacon (1215-92), der studerede lys og linser, hvilket resulterede i de første brugbare briller. De baserede sig i mange sammenhænge på arabiske forskere, først og fremmest Ibn al-Haitham (ca. 965-1040), kaldet Alhazen, som virkede omkring år 1000 i Cairo og især studerede lyset og dets egenskaber, herunder øjet og dets dannelse af billede.

I sin bog *De multiplicatione specierum* beskriver Roger Bacon en adskillelse af magi, som virker gennem suggestion, og naturvidenskab, som virker gennem naturlige årsager. Her ses optik-diagram fra bogen . British Library.



Ibn al-Haitham, kendt som Alhazen, skrev mellem 1000 og 1100 flere afhandlinger om optik, medicin og astronomi. I diagrammerne fra *Optikkens bog* fra 1038 beskriver han de enkelte elementer i det menneskelige øje.

Der var således tale om et omfattende og bredt studium af en lang række empiriske fænomener – fysiske, filosofiske, matematiske, psykologiske, logiske og lingvistiske. Den afgørende forskel i forhold til tidligere var, at man eksplisit søgte praktiske resultater og ønskede at konfrontere sine teorier med eksperimentelle og observerbare forhold. Man havde endnu ikke nogen egentlig målingspraksis, og heller ikke nogen forestilling om, at matematik og matematiske modeller direkte lod sig anvende i eksperimentelle situationer. Måling er typisk en aktivitet, der resulterer i tal, og man tænkte stadig – præget af antikkens grækere – i geometriske modeller, selvom tabeller over observationer blev mere og mere udbredte. Man anvendte måleinstrumenter, f.eks. astrolabiet, og man lavede laboratorieopstillinger, men en egentlig teknisk præcis målepraksis var der ikke tale om. Optik egnede sig til geometrisk behandling, og man undersøgte og fremsatte teorier om f.eks. øjets dannelsel af billede.

Den aristoteliske tænkning, som blev taget for givet, sagde, at man skulle søge efter årsagerne, de materielle, formelle og virkende, og sætte tingene ind i en overordnet formålsbestemt sammenhæng. Når man således skulle forklare regnbuen og dens farver, så man efter de betingelser, den opstod under – det, vi i dag ville kalde begyndelsesbetingelserne. Man søgte dens årsager og mening. Man målte også på brydning af lyset i regndråberne og fandt de to forskellige brydningsgrader, der skaber den dobbelte regnbue. Men man så ikke efter den *generelle* lovmaessighed for lysets brydning.

For den aristotelisk tænkende fysiker er den underliggende



Astrolabiet gør det muligt at beregne Solens og stjernernes positioner på himlen og deres op- og nedgangstidspunkter på en vilkårlig dato og på et hvilket som helst tidspunkt. Det sker ved at simulere bevægelsen i en plan projektion, som er opfundet i det antikke Grækenland. Billedet her viser et persisk astrolabium fra 1800-tallet. Punkterne for enden af de krumme kroge markerer de mest lyse stjerners position. Whipple Museum of the History of Science, Cambridge.

logik et spørgsmål om at finde de rette egenskaber, så man kan udtale sig i subjekt-prædikatsætninger – såsom ”mennesket er et rationelt dyr” – om fænomenernes essens og deres årsager. Der er enorm forskel på dette og så senere tiders begreber om videnskab. For en senere tænker som f.eks. René Descartes (1596-1650) er den underliggende logik en ganske anden. Han ønsker at udtale sig om relationer mellem kvantitative størrelser. Det forudsætter målinger og et algebraisk begreb om en funktion, om et konstant forhold mellem et input og et output – med andre ord det, vi i dag ville kalde en matematisk formulertet naturlov. Det eksperimentelle datagrundlag var for så vidt allerede til stede, idet Ptolemaios havde lavet målinger og tabeller over lysbrydning. Der var bare ingen, der formulerede den simple brydningslov ved hjælp af en trigonometrisk funktion – den lov, som senere bliver udgangspunkt for den forklaring af regnbuen, som Descartes fremlægger i 1637.

Middelalderens teologi, der var den helt afgørende teoretiske disciplin i et samfund præget af organiseret og institutionaliseret religion, baserede sig på læsning og fortolkning af tekster. Samtidig var der en stærk tro på fornuften, der dog ikke kunne forholde sig til de egentlige religiøse mysterier, men måske netop kunne bruges til at indse sin egen begrænsning. Forskere arbejdede med oversættelser og kommentarer, i høj grad hjulpet af latinens status som internationalt sprog. Filosofien blev betegnet som teologiens ”tjenestepige”, og den skulle bidrage til at løse de problemer, som teologerne arbejdede med. Teologerne arbejdede også med sprog og argumentationsteori: grammatik, retorik og logik var discipliner med stor betydning i middelalderen, og de blev formet af deres relation til teologien og den praktiske brug inden for kirkens rammer. I antikken havde deres rolle været præget af den politiske og retslige virkelighed, og man brugte især retorikken som træning i at tale til forsamlinger og i at forelægge en sag for retten. For den middelalderlige tænker var de tre discipliner tæt sammenhørende, idet de alle beskæftigede sig med det naturlige sprog, nemlig latin. At grammatik og retorik var sproglige discipliner, var ikke så kontroversielt – men at logik var det, det var noget nyt. Logik var ikke direkte formulering af sprogregler eller regler for talen, men snarere teorier om, hvad sprog, mening og argumentation egentlig helt grundlæggende var for en type aktiviteter. Logikken blev altså forstået meta-sprogeteoretisk.

Thomas Aquinas (ca. 1225-74) var kirkens største teolog i middelalderen. Han var aristoteliker, men også empiriker, og formåede således at forene kirkens skolastiske tradition med de nye strømninger fra genopdagelsen af den antikke tænkning. Aquinas' såkaldte beviser for Guds eksistens var f.eks. baseret på både teologiske argumenter og erfaringer fra den fysiske verden og formulerede en naturlig teologi, der fik stor indflydelse på både den romersk-katolske kirke og filosofien generelt. Aquinas' fem argumenter blev ligesom Aristoteles' fire årsager anset for at være videnskabelig tænkning af højeste kvalitet, selvom vi i dag snarere ville karakterisere dem som metafysik eller religiøse anskuelser. Men man skal huske på, at tidligere tiders forklaringsmodeller kun efter århundreders opsamling af empirisk materiale og analytisk arbejde kan karakteriseres som uvidenskabelige. I middelalderen var situationen anderledes. Naturvidenskaben var en del af filosofien, og metafysikken var en del af logikken, der skulle tjene teologien.

Fra midten af 1000-tallet og frem til slutningen af 1300-tallet udvikledes en avanceret logik, der omfattede teorier om de mange måder, sprogets dele kan referere til virkeligheden på, de mange måder, man kan argumentere på, og analyser af sprogets forskellige dele – ikke forstået grammatiskt, men ud fra delenes helt forskellige logiske egenskaber. Hvis vi f.eks. analyserer sætningerne “København er navnet på Danmarks hovedstad” og

## • Thomas Aquinas' gudsbeviser

I sit hovedværk *Summa Theologiae* (1265-74) fremsætter Thomas Aquinas fem beviser (eller argumenter) for Guds eksistens.

De er som følger:

*Bevægelsesargumentet*, der siger at alt, hvad der bevæger sig, må være blevet bevæget af noget andet. Derfor må der eksistere en første bevæger, som selv er ubevæget.

*Argumentet om en efficient årsag*, der siger, at selvensen af alle årsager i universet må skyldes en første årsag. Og denne første årsag er Gud.

*Argumentet om den nødvendige eksistens*, som siger, at alle ting afhænger af andre ting for at eksistere, og derfor må der væ-

re mindst én ting, som eksisterer forud for dem. Derfor må denne nødvendige eksistens eksistere.

*Argumentet om graduering*, som siger, at alle ting kan sammenlignes ud fra kvaliteter som godt og ondt, smukt og grimt, osv. Derfor må der eksistere et absolut godt og perfekt væsen.

*Designargumentet*, også kaldet det teleologiske argument. Det siger, at hele naturens orden ikke kan være blevet skabt tilfældigt og derfor må skyldes en oprindelig og intelligent skaber, som har designet alt det eksisterende (se også s. 372).

“København er en stor by”, er de begge grammatisk set stort set identiske, men logisk set er de helt forskellige. Den ene omhandler byen København, den anden ordet “København”. Hvis vi ved, at den første sætning er korrekt, kan vi slutte følgende: “Danmarks hovedstad er en stor by”, og “København’ er navnet på en stor by”. Men vi kan ikke slutte, at “En stor by” er navnet på Danmarks hovedstad”. Middelalderens logikere interesserede sig for sådanne intrikate samspil mellem sproget og logikken. De havde et fælles sprog at arbejde med, latinen, og de havde en fælles motivation for at beskæftige sig med, hvad der af mange måske kunne opfattes som spidsfindigheder, nemlig den lange række af intrikate fortolkningsproblemer, som kristendommen rejste.

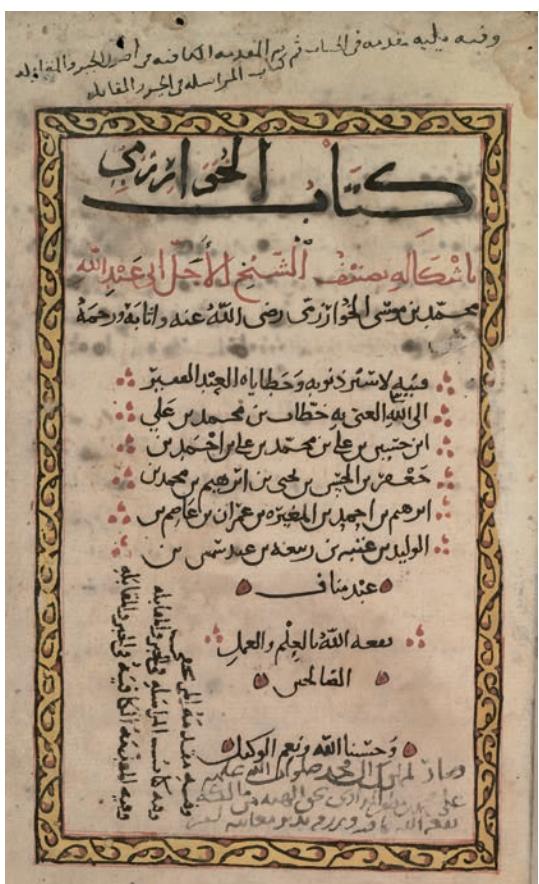
## Det arabiske talsystem

En af de ting, vi i allerhøjeste grad kan takke middelalderens mennesker for, er muligheden for at foretage simple beregninger. Det var i middelalderen, at arabertallene blev indført. Det afgørende var ikke selve taltegnenes udseende, altså om man skrev “fem” som 5 eller som V. Det afgørende var først og fremmest nullet, og det dertilhørende positionssystem. I tallet 555 betyder “5” et sted “fem hundrede”, et andet “halvtreds”, og et tredje “fem”, underforstået “fem enere”. 555 skal altså læses  $5 \cdot 100 + 5 \cdot 10 + 5 \cdot 1$ , og pladserne regnes fra højre mod venstre og baserer sig på potenser af 10 startende med 0. Så 555 kan også skrives  $5 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0$ . Taltegnet 0 benyttes så til at betegne, at der ikke er nogen hundreder, tiere eller enere eller nogen anden potens af 10. Nullet og positionssystemet kan i principippet bruges med alle tal som grundtal – dvs. man kan også bruge potenser af 2, 8, 20 eller hvilke som helst andre tal. Det blev dog 10-tals-systemet, der blev dominerende, selvom reminiscenser af både 12 – og 20-tals-systemer findes den dag i dag.

Tal kunne nu repræsenteres på en simpel måde med et begrænset antal grundlæggende taltegn, ciffer-tegn, nemlig de ti taltegn fra 0 til 9. Med disse kunne der skrives uendeligt mange tal, idet antallet af positioner fra højre mod venstre var ubegrænset. Det var noget nyt, en form for tallenes alfabetisering.

Men endnu vigtigere var det, at denne repræsentation af tal muliggjorde udvikling af skriftlige regnemetoder baseret på simple manipulationer med

taltegnene på papir, det vi i dag tager som en ren selvfolge og lærer i de første skoleår. Med simple regler kan man lægge sammen, gange og dividere. Det kræver kun, at man memorerer nogle få talforhold, først og fremmest den lille tabel. Men i principippet kan man altid “regne” sig frem ved at tælle på fingrene. Man må så også lære noget med menter, der i systemet betyder, at man flytter sig fra en position til en anden. Sådanne operationer havde tidligere været komplicerede og ofte krævet brug af andet end selve taltegnene, f.eks. en abacus, en art kugleramme. I flere hundrede år diskuterede man, hvad der var bedst: regning, som vi kender den, eller brug af kugleramme. I det engelske udtryk “over the counter” findes en sproglig rest af, at handel foregik hen over en “counter”, der netop var en kugleramme. Men med de nye tal kunne man nemt foretage simple beregninger. Det fik enorm betydning for mange mennesker, der nu på en helt anden måde kunne begynde



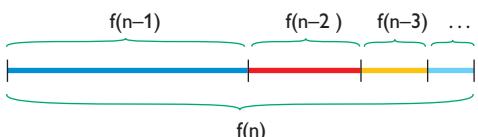
at måle, veje og regne. Købmænd og bygmestre kunne regne, så lange de ting, de arbejdede med, kunne repræsenteres ved tal. Vægt eller antal, længde og højde, alt sammen kunne gøres til tal. Her ligger starten på den form for regning, vi kender som skole-regning. Hvis 50 kg koster 200 kroner, hvad koster så 1 kg?

Selvom nullet har været brugt i flere civilisationer, blev det først for alvor introduceret i den europæiske idehistorie via den persiske matematiker, geograf og astronom Muhammed ibn-Musa al-Khwarizmi (9. årh. e.v.t.). I bogen *Al-Jabr wa-al-Muqabilah*, som denne side kommer fra, udvikler han analytiske løsninger til kvadratiske ligninger. Ordet *algebra* er udledt fra *al-jabr*, som er en af de to operationer, han brugte til at løse kvadratiske ligninger, og som går ud på at fjerne negative størrelser på den ene side og lægge dem til på den anden – det vil i moderne notation f.eks. svare til at omskrive  $x^2+4 = 3x-7x^2-1$  til  $8x^2+5 = 3x$ . Bemærk al-Khwarizmis brug af de tre røde prikker, som i ergo-symbolet · Bodleian Library, Oxford.

Og hvad koster 200 kg osv.? Langsomt blev flere og flere områder underlagt tal og måling, og senere, i 1600-tallet, blev sågar den ellers geometrisk baserede naturvidenskab gjort til tal.

Det tidligst kendte nedskrevne nul stammer fra 683 og findes i Cambodja. I 718 findes der en kinesisk tekst med nuller, skrevet af indiske forskere, der var ansat hos den kinesiske kejser. Omkring 660 kendes fra Syrien omtaler af positionssystemet, men uden nullet. I Indien kendes der indskrifter med nullet fra 870, og helt sikkert er det, at indere, kinesere og araber på den tid brugte systemet. Det var imidlertid araberne, der udviklede systemet til det, vi kender i dag, idet de bl.a. indførte decimalbrøkerne, så man f.eks. kunne skrive  $\frac{1}{2}$  som 0,5. Den arabiske matematiker Muhammed ibn-Musa al-Khwarizmi (9. årh. e.v.t.) skriver i begyndelsen af 800-tallet en lærebog i aritmetik, dvs. talbaseret matematik, som senere bliver oversat til latin og danner basis for en væsentlig del af middelalderens regnekunst. Det er efter ham, vi har ordet "algoritme", der er en vestlig forvanskning af hans navn, al-Khwarizmi. I 952 skriver en anden arabisk matematiker i Damaskus, Abu Hasan Al-Uqlidisi (10. årh. e.v.t.), en lærebog om regnekunst, der eksplisit fremlægger algoritmer, dvs. regnemetoder, der alene manipulerer med symboler på papir – og altså undgår brug af sten, streger i sandet eller andre mekaniske hjælpemidler. Det var et skelsættende fremskridt, og først med computernes indtog ca. tusind år senere kan man tale om en lignende fornyelse af regnehjælpemidlerne.

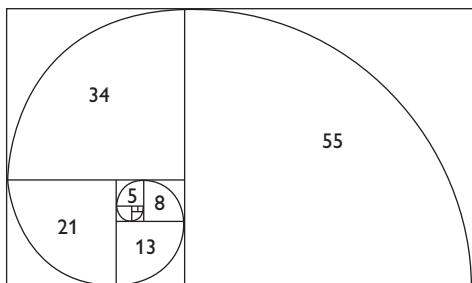
En af de helt afgørende personer, der introducerede de nye tal og de nye regnemuligheder i Europa, var italieneren Leonardo fra Pisa (ca. 1170-1250), kendt som Fibonacci. Han skrev i 1202 en bog om regning, *Liber abbaci*, hvori han gennemgår alle de nye ting, herunder også en masse praktiske problemer. Leonardo var søn af en købmand, der handlede med araberne, og han opholdt sig i perioder i Nordafrika, hvor han givetvis har lært de nye tal og metoder at kende.



$f(n)$  er til  $f(n-1)$ , som  $f(n-1)$  er til  $f(n-2)$ , hvis  $n \gg 1$

Fibonacci-tallene er tæt knyttet til det gyldne snit, fordi det gyldne snit, som forklaret i forrige kapitel (s. 43), kan beskrives som et forhold, hvor summen af to linjesegmenter  $a$  og  $b$  har samme størrelsesforhold til  $a$ , som  $a$  har til  $b$ . I tilfældet af Fibonaccis talrække konvergerer forholdet mellem to efter hinanden følgende Fibonacci-tal  $f(n)$  og  $f(n-1)$  mod det gyldne snit for voksende  $n$ . F.eks. vil forholdet for det fjerde Fibonacci-tal ( $n=4$ ,  $f(n)=3$ ) være  $3/2=1,5$  mens det for det tiende Fibonacci-tal ( $n=10$ ,  $f(n)=55$ ) vil være  $55/34 \sim 1,61765$ , hvilket ligger tættere på det gyldne snit (som er på  $\sim 1,6180339887$ ).

	5	
	1	1
3	2	



Ud fra Fibonacci-tallene kan man danne en spiral, hvor hvert nyt kvadrat er additionen af de to foregående længder. I naturen findes der utallige eksempler på Fibonacci-lignende former.

Det mest berømte problem, Fibonacci behandler, er spørgsmålet om hvor mange kaniner, der på et år kan avles, hvis udgangspunktet er ét par. Vi antager, at to kaniner kan avle ét nyt par på en måned, og at kaniner kan avle igen efter en måned. Svaret bliver på den basis 377 par på et år. Det følger af denne serie af tal: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, hvor hvert tal er summen af de to foregående (startende med 0 og 1). Det er den såkaldte Fibonacci-serie, der har en række meget interessante – og givetvis af Leonardo ikke erkendte – egenskaber. Samtidig med Fibonacci var en anden matematiker i gang i Paris, Jordanus de Nemore (13. årh. e.v.t.). (Det siges, at der er tale om en kvinde.) Han/hun bidrog også afgørende til etableringen af en vestlig matematik, der var på højde med den arabiske.

## Overtro som katalysator for indsigt

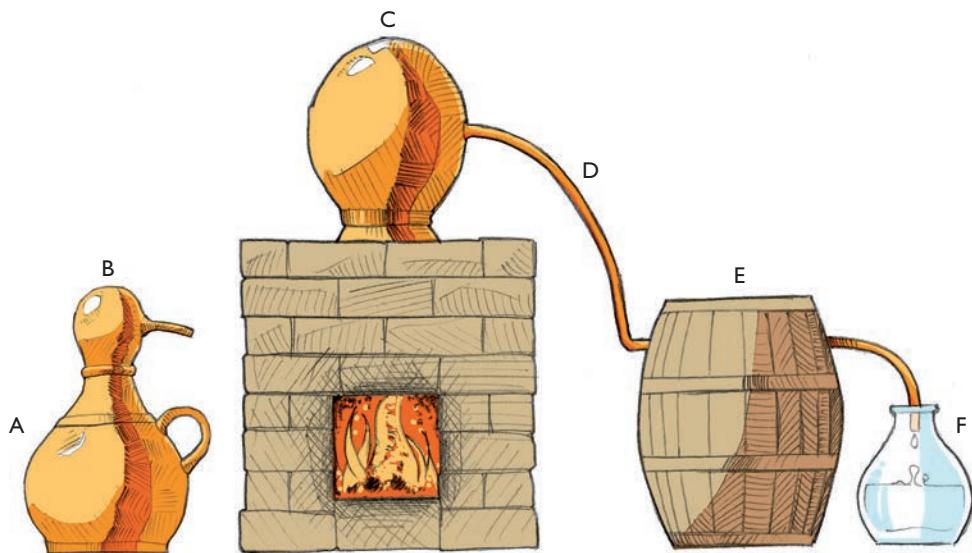
På basis af udviklingen inden for matematikken kunne en række forskere fra midten af 1200-tallet udvikle nye resultater og teknikker. Det førte til mange forbedringer af den fra antikken overtagne videnskab. Man studerede bevægelse og fandt flere resultater, som vi normalt tilskriver den senere såkaldte "videnskabelige revolution". En forsker som Nicolas af Oresme (ca. 1320-82) beskrev et legemes frie fald på en ikke-aristotelisk måde. Man ind-

førte induktionsbeviser, noget man var blevet inspireret til af araberne, og kunne derfor håndtere uendelige talfølger. Men meget af denne videnskabelige forskning gik i løbet af 1400- og 1500-tallet i glemmebogen og måtte genopdagtes eller gentages århundreder senere.

I middelalderen fortsatte også arbejdet med de discipliner fra antikken, der senere blev betragtet som overtro. Det drejede sig først og fremmest om astrologi og alkymi, samt visse andre former for magi eller trolddom. Disse aktiviteter var nøje knyttet til forskellige former for religion og mystik. De praktiseredes både af kristne, jøder og muslimer. Megen af denne aktivitet fandt støtte i fortolkninger af Aristoteles og Ptolemaios. Vi opfatter ofte middelalderen som den periode, hvor overtro og trolddom trivedes bedst. Men det var faktisk først i renæssancen, at der rigtigt blev skabt en sammenhængende opfattelse af verden, hvori disse discipliner eksplisit spiller en rolle, en art magisk verdensopfattelse. Der er ingen tvivl om, at et middelalderligt kloster kunne huse mennesker med mange og – set med vore øjne – mærkelige synspunkter. Men som helhed var de middelalderlige klostre centre for praktisk viden og besad en grundlæggende rationel attitude til tilværelsen, under respekt for de kristne sandheder og de overlevende tekster og autoriteter.

Nicolas af Oresme fremførte dog et interessant argument imod astrologen som videnskab. Skulle det være en videnskab, måtte det basere sig på, at himmellegemerne igen og igen indtog bestemte positioner og konfigurationer i forhold til hinanden. Men at gentagelserne skulle være fuldstændig nøjagtige, antog Oresme for usandsynligt. Hans analyse gik ud på, at langt de fleste tal, der repræsenterer forhold imellem himmellegemerne, måtte være irrationale. Himmellegemerne måtte derfor med meget stor sandsynlighed altid stå i nye, ganske lidt anderledes konstellationer i forhold til hinanden, i modstrid med astrologiens antagelser om gentagelser.

Både astrologi og alkymi fremmede på mange måder forskningen, idet begge discipliner krævede pålidelige observationer, og at man udførte forsøg, der gav erfaringer med forskellige stoffer og kemiske processer, f.eks. destillationsprocesser. Flere af de hypoteser, der lå til grund for astrologi og alkymi, var også ”rimelige”, givet visse teoretiske antagelser. Alkymistens ønske om at forvandle uædle metaller til ædle, først og fremmest til guld, blev anskuet og forstået i en aristotelisk sammenhæng. Et uædelt metal havde sine egenskaber qua stoffets form. Det drejede sig således om at finde



en årsag – en af Aristoteles' fire årsager – der kunne deformere stoffet og give det en ny form, guldets form. Jern og guld havde således samme materie, mente man, men forskellig form. "De vises sten" var netop betegnelsen for et stof, der kunne bevirke denne formelle ændring. Formen kunne igen tænkes som en art "ånd", der skulle påvirkes, fjernes eller fornyes. At et stofs egenskaber knyttes til en sådan "ånd", kender vi fra betegnelsen "spiritus", der er det træk ved vinen, der giver den dens særlige virkning. Ved at fjerne den, f.eks. ved destillation, kunne man skille "ånden" ud og efterlade en kedelig væske, og så drikke den særlige, gendannede "åndelige" væske, alkoholen. Noget tilsvarende mente alkymisten skulle være muligt med metaller. Man kunne forædle dem – bemærk udtrykket – og danne guld. For os med vores ideer

Alkymien var en slags proto-videnskab, der kombinerede kemi med astronomi, medicin og mysticisme. Dens oprindelse skal nok findes mindst 3000 år tilbage. I middelalderen fik den stor betydning og blev anset som en seriøs videnskab. Senere blev den bedrevet af blandt andre Isaac Newton (1642-1727) og Tycho Brahe (1546-1601). En af dens mest populære beskæftigelser var nok fremstillingen af *aqua vitae*, livets vand, der var fortynnet ethanol, nærmere betegnet sprut. *Aqua vitae* blev typisk tilberedt ved at destillere vin, og den frembragte væske fik forskellige lokale navne, f.eks. *eau de vie* i Frankrig og *akvavit* i Danmark. På billedet ses en opstilling til varm destillation: en kobberbeholder (A) med hætte (B) lægges i en ovn af mursten, hvorpå destilléringsapparatet (C) er monteret. Et tyndt blikrør (D) fører dampen igennem en tonde (E) med koldt vand, hvorefter alkoholen kondenserer og opfanges i en flaske (F).

Guldsmeden Gutenberg opfandt bogtrykket ved at bruge løse bogstavtyper af bly. Han lavede små støbeformenter, hvori han kunne hælle flydende metal og dermed producere enkelte bogstaver, som så kunne sættes sammen til ord og sætninger og bagefter trykkes med en håndpresse på et stykke papir. Blæk blev smurt hen over de fremstående bogstaver, der blev holdt i en træramme. Efter tryk blev der tilføjet håndmalet ornamentik. Det tog ham to år at færdiggøre sin første bog, Bibelen, der lå klar i 1455.

Incipit epistola sancti Ieronimi ad paulini<sup>m</sup>  
propositum de oibz divine historie libri.

Capitulo primo

**A**baco amboinus tuamch<sup>i</sup> munuscula preferens detulit sum<sup>t</sup> et suauissimas litteras que a principio amicūcias fidei probare iam fidei et veteris amicūcias p̄ferabant. Vera enī illa necessitudo erat p̄i glutino copulata: quā nō utilitas rei familiaris non p̄serita tamū corporis nō subdola et palpās adulato: sed dei timor et diuinitati scripturarū studia conciliant. Legimus in veteribz historiis quodlā luctusse p̄uincas nouos adiisse p̄plos maria trāslisse: ut eos quos ex libris inquerat: coram q̄b viderent. Sic pitagoras memphiticos vates sic plato egyptum et architētū tarentinū et amq; orā realie que quondā magna grecia dicitur: labiorissime peraguisse: ut qui athēnēs mīgrerat et p̄oereis cūlūs: doctrinas achadēmiae ḡigntas p̄fouabār fieret peregrinus atq; discipulus: malens aliena verecundē disceere: q̄b sua impudenter īngere. Deniq; cum litteras quasi toto orbe fugientes p̄sequuntur: captus a piratis et venindacis et errando crudelissimo paruit. duxus captivus vint et seruus tamētū quia philosophus: maior emerere se fuit ad retinaculum. lateo eloquentie fonte mananteū de ultimis hispanie galliarū q; sumibz quodlā venisse nobiles legimus: et quos ad contemplationem sui romā non traxerat: unius hominis fara p̄duxerit. Habuit illa etas īaudicium omnibus seculis: celebrandumq; miraculum: ut urben rācam

ingressi: aliud extra urbem querereut. Apollonius sive ille magus ut vulgus loquitur: sive phus ut pitagorici tradunt: etrami p̄las: p̄rahuit cauālū: albandos: sc̄thas: massagetas: opulentissima īndie regta penetravit: et ad extreūm latissimo phylon amne trāsum aduenit ad brāguanas: ut hyrcām in throno serenitē aureo: et de tanta lī fōnte potantem: inter paucos discipulos de natura de moribz ac de cursu dieū et siderū audiret docentem. Inde p̄ clamias: bablonios: chaldeos: medos: assirios: parchos: syrophenices: arabes: palestinos: reveritus ad aleΞandriā: p̄cregit ad ethiopiam: ut gigantes p̄phitas: et famosissimam solis mensam videret ī labulo. Inuenit ille vir ubiq; quod disceere: et ſeng proficiens: ſemper ſe melior fieret. Scriptū ſuper hoc plenissime qdā volumībus: phyloſtratus. cap. ii. Quid loquar de ſeculi hominibz: quum apostolus paulus: das electionis: et magister gentium: qui de conſciencia tanti in ſe hospitio loquebatur: dicens. An experimentum queritis eius qui in me loquitur erit: post damasum arabiānū luſtraeū: ascenderit iherosolimā ut videtur petrū et mālerit apud eum diebus quindecim. Hoc enim mīsterio elido: madis et q̄do adiſ: futurū gentium predicator instruendus erat. Kurlumq; post annos quaruordecim allumpio barnaba et ipso: reposuit cum apostolis euangelium: ne forse ī vacuum curreret aut circuaret. Habet nescio quid latitatis energie viue vocis adūs: et in aures discipuli de auditoris ore tranſuſa: ſorti ſonat. Unde et eschimes: cu rodū regulare: et legere illa deuotissimis

om grundstoffer og atomer osv. er dette måske forrykt, men med et aristotelisk begrebsapparat og den praktiske erfaring med destillation af vin giver det på sin vis god mening.

## Teknologiske fremskridt i skrift og bogtryk

I midten af 1400-tallet ændredes vilkårene for intellektuelt arbejde afgørende. Universiteter og klostre havde tidligere været centre for formidlingen af viden og ideer. Man havde baseret sig på forelæsninger og diskussioner, alle sammen baseret på håndskrevne bøger. Disse fremstilles i klostre eller af professionelle kopi-virksomheder. Omkring 1450 blev bogtrykkerkunsten opfundet. Det var tyskeren Johann Gutenberg (ca. 1390-1468), som endelig kunne løse de problemer, der før havde umuliggjort bogtrykket: at støbe ens typer, at udvikle en trykpresse, der kunne sikre masseproduktion, at organisere sætning og trykning osv. Det ændrede fuldstændig vilkårene for produktion og distribution af viden. Samtidig skabtes et uafhængigt system af bogtrykkere og forlæggere, der producerede og handlede med bøger. På få årtier var situationen for tilegnelsen af viden eller spredningen af ideer totalt ændret. Hvor en håndskreven bog havde været ekstremt dyr og stort set utilgængelig i fri handel, så blev bøger nu tilgængelige for større dele af befolkningen. Mange kunne nu selv læse Bibelen, læse Aristoteles og Platon og tilegne sig matematisk, medicinsk eller teknisk viden. Der skabtes mulighed for en debatterende og diskuterende offentlighed, som det blev udnyttet af f.eks. Martin Luther (1483-1546) og Erasmus fra Rotterdam (1469-1536), der i 1500-tallet skrev værker, som blev rene bestsellere. Hele den klassiske videnskab og filosofi blev i løbet af få årtier gjort tilgængelig for alle, der ønskede at studere den. Meget andet end videnskab og filosofi blev selvfølgelig publiceret: skønlitteratur på de enkelte sprog, religiøse værker, værker med folketro og mærkelige teoridannelser, sådan som det også sker i dag.

Bogtrykket spredtes ekstremt hurtigt i Europa. Omkring 1470 var der bogtrykkerier i alle europæiske lande, og kort efter var en omfattende bogproduktion og boghandel en realitet, knyttet til store handelshuse og handelsveje. Kirke og stat forsøgte hurtigt at sætte sig på bogproduktion og distribution – det frie ord var farligt. Men det lykkedes aldrig helt at kontrollere bogen. Der var altid ét eller flere steder, hvor tanker frit kunne

publiceres. Det er i den forbindelse tankevækkende, at trykkefriheden først blev indført i 1849 i Danmark.

Bogtrykket var ved siden af uret middelalderens vigtigste bidrag til udviklingen af den type samfund og civilisation, vi lever i i dag. Med bogtrykket og den tilhørende boghandel skabtes forudsætningerne for, at man kunne leve af at skrive og tænke uden at være afhængig af kirken eller ansat ved universitetet. Denne nye frihed blev af afgørende betydning for den videre udvikling af samfundet, filosofien og videnskaben.



# 3

## Videnskabsmandens og humanistens fødsel

I 1492 opdager Christoffer Columbus Amerika. I 1519 dør Leonardo da Vinci. Få år senere starter reformationen. I 1543 udsender Nikolaus Kopernikus et værk, der argumenterer for et heliocentrisk verdensbillede, og Andreas Vesalius publicerer samtidig et anatomisk atlas baseret på dissektioner og konkrete observationer. Der er grøde inden for den intellektuelle verden. Allerede omkring 1430-40 havde malere i Norditalien fremstillet billeder baseret på centralperspektiv, billeder der meget lidt lignede middelalderens malerkunst. På nogle bestemte områder er det helt tydeligt at se, hvad der sker i renæssancens begyndelse i midten af 1400-tallet, specielt i Italien. Man behøver blot at betragte et maleri af Andrea Mantegna eller en bygning af Filippo Brunelleschi, så vil man se et opgør med gotikken og en venden sig mod klarhed og orden.

Intellektuelt er det sværere at se en entydig udvikling. 1400-tallet er en kompliceret periode præget af konflikter og katastrofer. 1500- og store dele af 1600-tallet er også præget af strid, først og fremmest religionskrige, der både var borgerkrige og krige mellem forskellige lande. Tilsvarende finder vi mange stridende intellektuelle strømninger, måske skarpest inden for det religiøse felt. Filosofien kulminerer med de store skolastikere Thomas Aquinas, Johannes Duns Scotus og William fra Ockham, og med René Descartes i begyndelsen af 1600-tallet sker der en radikal fornyelse.

Leonardo da Vincis tegning af *Den Vitruvianske Mand* (1492) analyserer den menneskelige krops proportioner i forhold til universets evige former. Den har opnået en næsten ikonisk status som symbol på renæssancens sammenknytning af kunst og videnskab.

Lige før år 1200 starter en utrolig afgørende intellektuel og kulturel proces, der består i en genopdagelse og derefter videreudvikling af den antikke arv. Især Aristoteles kommer på dagsordenen og

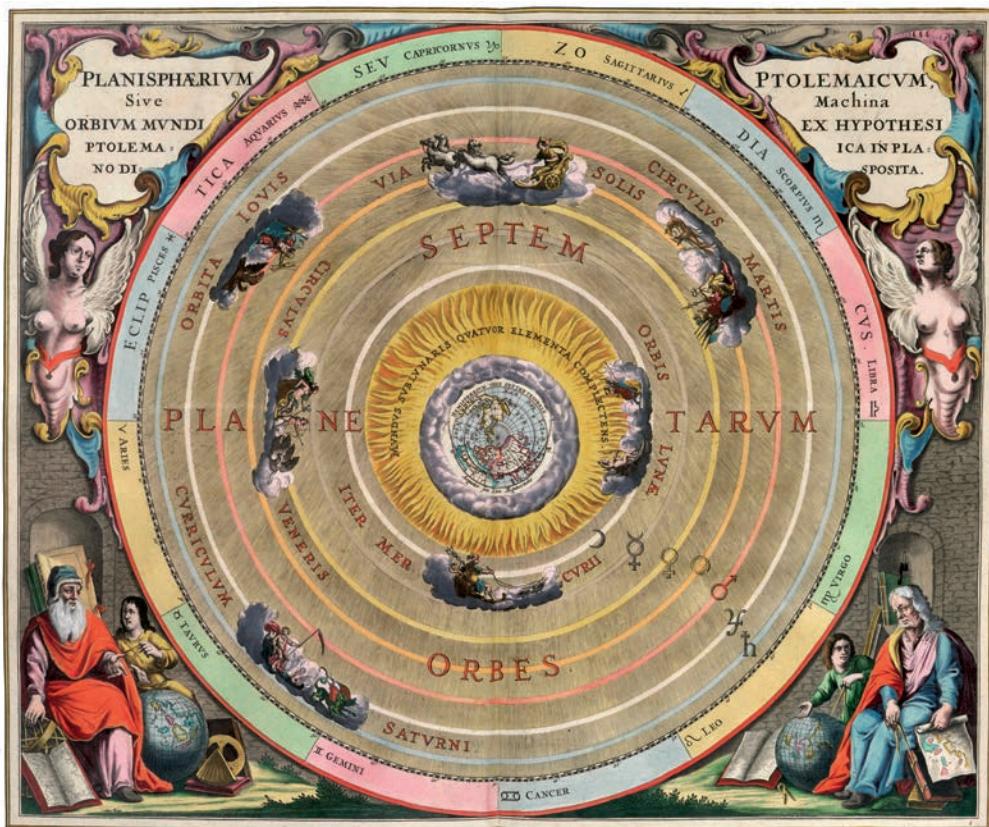
dominerer diskussionerne inden for videnskab og filosofi i meget lang tid. Det er faktisk først omkring begyndelsen af 1600-tallet, der sker et radikalt opgør med aristotelismen, og man kan på mange måder sige, at perioden fra omkring 1200 til 1600 er en sammenhængende periode. Ikke desto mindre sættes der ofte et skel omkring 1450-1500, hvor middelalderen siges at gå over i renæssancen.

## Det skabende menneske

Renæssancen er ikke en pludselig begivenhed. Den starter i 1300-tallet og kulminerer i begyndelsen af 1500-tallet i Italien. Det sker i Italien, bl.a. fordi der her er stor rigdom og en politisk organisering, der er ganske anderledes end i det øvrige Europa. Der er tale om en politisk struktur baseret på bystater. Disse rige, selvstyrrende byer skaber en bestemt slags kultur, der baserer sig på handel, udveksling, åbenhed og tæt kontakt mellem mennesker af forskellig observans og leveform. Sammen med udbredelsen af bogtrykkerkunsten muliggør det helt nye former for intellektuelt arbejde. I løbet af 1400-tallet genopdages Platon også i sit fulde omfang, og dermed er situationen omkring år 1500 meget anderledes end omkring år 1300.

Mange intellektuelle rykker fra klostret over til hoffet og kan så småt distribuere deres synspunkter og værker på en form for marked, ligesom man selv kan erhverve sig et bibliotek med værker af Aristoteles (384-322 f.v.t.), Platon (427-347 f.v.t.), Cicero (106-43 f.v.t.), Euklid (ca. 300 f.v.t.), Ptolemaios (ca. 100-170 e.v.t.), Thomas Aquinas (ca. 1225-74) m.fl. Middelalderens typiske intellektuelle var teolog. Nogle få, som f.eks. den franske filosof og fysiker Jean Buridan (ca. 1295-1358), var alene knyttet til det filosofiske fakultet på universitetet, men det var en usædvanlig undtagelse. I middelalderens Italien var filosofi og medicin knyttet meget tæt sammen, mens filosofi og teologi på de nordeuropæiske universiteter var det naturlige par.

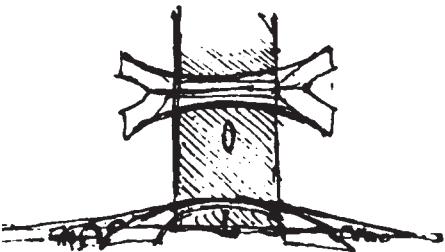
Langsomt opstod en ny type intellektuel, den type vi kalder "humanisten". En humanist var, ligesom klosterbroderen, kristen, muligvis endda præst, men var ikke afhængig af klostret eller kirken, men af en sponserende fyrste og hans hof. Formålet med humanistens studier var ikke at styrke kirken eller fremme troen, men snarere at glorificere fyrsten og selv at tjene penge. Humanisten beskæftigede sig typisk med at redigere, udgive og oversætte antikke tekster og var som sådan filolog. Han var imidlertid



Ptolemaios (ca. 100-170 e.v.t.) var en af de antikke tænkere, som oplevede stor udbredelse i renæssansen. Her ses hans opfattelse af universet fra Andreas Cellarius' *Atlas Coelestis seu Harmonica Macrocosmica*, Amsterdam 1660.

ikke på nogen måde snæver i sine kvalifikationer. Ofte arbejdede han med logik, matematik, fysik, kartografi og med oversættelser, f.eks. af Platon. Han

kunne også være praktiker og f.eks. udfoøre malerier, foranstalte fyrværkerier eller deltage i konstruktion og bygning af forsvarsværker og nye våbentyper, ligesom han kunne være arkitekt. Af og til var han også læge med en udannelse, der i høj grad baserede sig på naturfilosofi. Men han var ikke typisk håndværker og forstod sig ikke som en sådan, selvom han måske havde behov for håndværksmæssig kunnen. En multikunstner som Leonardo da Vinci (1452-1519) beherskede mange af disse ting, selvom vi først og fremmest kender ham som maler. Han kunne sikkert sit håndværk, men ville også meget gerne eksperimentere med nye metoder – desværre for os, idet det medførte nogle billeder, som tiden har tæret meget mere på, end hvis han havde holdt sig til at være en god håndværker.



I 1502 lavede Leonardo da Vinci en tegning (t.v.) af en 240 meter lang bro som del af et ingeniørprojekt for sultan Bayezid II. Broen skulle spænde over Det Gyldne Horn, en præhistorisk flodmunding, som forbinder to dele af det tidligere Konstantinopel (nu Istanbul). Broen blev aldrig bygget, men i 2001 blev en mindre fodgængerbro med samme design bygget nær Ås i Norge (øverst), tegnet af arkitekten Vebjørn Sand. I 2006 besluttede Tyrkiets premierminister dog at virkeliggøre da Vincis broprojekt hen over Det Gyldne Horn i dets eksakte dimensioner.

Middelalderens syn på empirisk forskning var præget af to grundlæggende forskellige naturopfattelser. Den ene så naturen som en stadig fortløbende guddommelig kreation, som mennesket kun delvist kunne fatte – fordi selve det guddommelige kun delvist kunne fattes. Som en fortløbende kreation kunne naturen kun delvist forstås som værende underkastet faste lovmæssigheder. I modsætning til denne opfattelse stod en fortolkning af Aristoteles, der var langt mindre ”kristen”, men måske mere stringent. Den gik tilbage til den arabiske filosof Averroes (på arabisk: Ibn Rushd, 1126-98). Her opfattedes naturen som et lukket, ”færdigt” system underkastet sine egne uforanderlige lovmæssigheder, og det var derfor muligt ved studier og analyser at finde og beskrive disse. Naturbeskrivelsen var for begge opfattelser kvalitativ, en art klassifikation eller kartografi – kortlægning. Den ene opfattelse gav plads for en skaber, der var aktiv, mens dette var sværere i den anden. Man kan sige, at de to naturopfattelser peger imod henholdsvis en organisk-vitalistisk variant og en mere mekanisk-deterministisk variant.

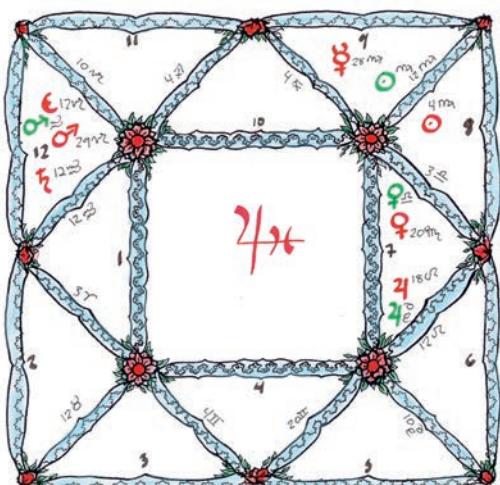
I 1300-tallet arbejdede nogle forskere i Paris og Oxford med deduktiv analyse af naturfænomener på basis af erfaringer og sandsynligvis også ret primitive eksperimenter. Flere af dem kom tæt på at formulere synspunkter, der var direkte i strid med aristotelismen. Man kunne f.eks. observere, at luft i en dyb brønd steg op af vandet. Men hvis luften vejede noget, skulle den sør

ge ind imod Jordens centrum, ligesom alt andet. Hvordan kunne den så stige til vejrs, hvad den påviseligt gjorde? Eller hvordan kunne en bold, der ramte et gulv, hoppe op igen, dvs. væk fra Jordens centrum og dermed dens naturlige plads, som den hele tiden burde stræbe imod? Simple erfaringer, som det krævede megen snilde at få indpasset i en aristotelisk naturopfattelse.

I løbet af 1400-tallet fremkom i Norditalien andre opfattelser af natur og dermed af erkendelse af den omgivende verden. Dette hang sammen med fremkomsten af humanismen. Hvor 1200-tallet var præget af genopdagelsen af Aristoteles, var 1400-tallet i Italien præget af genopdagelsen af Platon. Men Platon blev forstået i en såkaldt ny-platonisk forstand. Nu opfatte de flere humanister den menneskelige aktivitet og den menneskelige skaben som det afgørende i verden, og især kunsten og det kreative kom i centrum. Mennesket var blevet en skaber i sig selv, kunne gå i interaktion med verden og forme den. Faktisk var det kun igennem handlen og refleksion over handlen, at mennesket overhovedet kunne opnå erkendelse.

For 1400-tals humanisten Leon Battista Alberti, som vi senere skal vende tilbage til i forbindelse med perspektivet, var mennesket først og fremmest handlende og skabende, og som sådan næsten i konflikt med naturen, som virkede som en begrænsning for denne utæmmede udfoldelse. Det var en menneske- og naturopfattelse, der var helt anderledes end den aristoteliske. For den væsentligste humanist inden for Platon-genopdagelsen, florentineren Marsilio Ficino (1433-99), var mennesket handlende og erkendende, men på en åndelig måde. Mennesket kom i centrum af verden i kraft af

Marsilio Ficinos sammentænkning af den ydre natur og den indre sjæl havde stor betydning for humanismens og kunstens centrale plads i renæssancen. Her ses Ficinos horoskop. Han gav det denne tolkning med på vejen: "Saturn ser ud til at have præget melankoliens segl på mig siden begyndelsen; sat som den er, næsten i midten af min ascendant Vandmanden, og påvirker af Mars, også i Vandmanden, og Månen i Stenbukken. Den er i kvadrat med Solen og Merkur i Skorpionen, som står i det niende hus. Men Venus i Vægten og Jupiter i Krebsen har måske givet en vis modstandskraft til denne melankolske natur". Warnock-Renaissance Astrology.



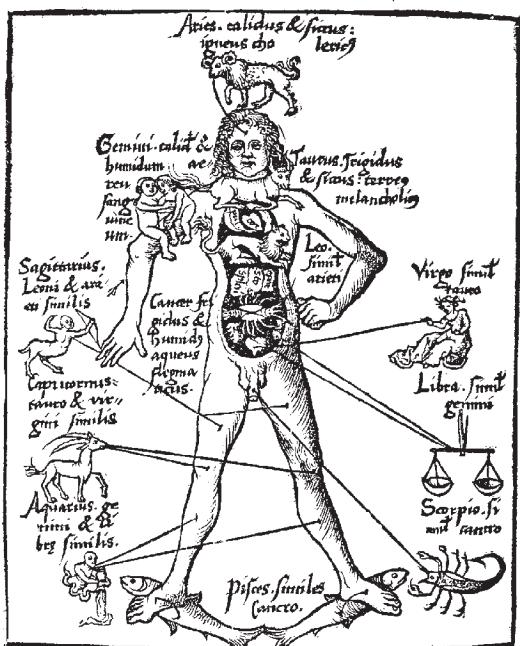
sin åndelighed, sin sjæl. På samme måde var verden besjælet, og naturen og mennesket var for så vidt to sider af samme sag. Mennesket var ikke i verden som tekniker eller håndværker, dvs. Homo faber, men som *magiker*.

Som "magiker" skal mennesket ikke gøre ind i eller forsøge at ændre verden, men skal i stedet formå at besnække eller narre verden til at opføre sig, som mennesket ønsker det. Det er ved charme og overtalelse, at mennesket påvirker naturen, ikke ved argumenter eller ved erkendelse af årsags-sammenhænge. Man kunne sige, at menneskets forhold til naturen her næsten forstås som et retorisk forhold. Fordi verden er besjælet, er den dermed også levende. Denne magiske opfattelse fik stor indflydelse på de okkulte kunstners og videnskabers status. Astrologi, alkymi, forskellige former for tal- og symbol-magi fik stor betydning. Magi blev netop forstået som den rigtige brug af symboler til påvirkning eller overtalelse. Også kunsten med dens brug af billeder og symboler fik en magisk funktion, og naturerkendelse og kunstnerisk skaben blev knyttet tæt sammen.

En sådan opfattelse af naturen og den menneskelige erkendelse levner ikke megen mulighed for en selvstændig naturvidenskab, der skulle studere en selvberoende natur reguleret af årsagssammenhænge.

Der var imidlertid ikke tale om, at humanisternes og ny-platonikernes forståelse af natur og erkendelse var enerådende i renæssancen. De middelalderlige

## Liber VII Trac. II



Munken Gregor Reisch (1470-1525), der bl.a. var ven af Erasmus fra Rotterdam (1469-1536), skrev den meget indflydelsesrige og rigt illustrerede encyklopædi *Margarita philosophica* i begyndelsen af 1500-tallet. Her præsenterede han al opsamlet viden siden slutningen af middelalderen. I kapitlet om astronomi finder man bl.a. denne illustration af dyrekredsmanden, hvor de enkelte kropsdele relateres til deres respektive astrologiske tegn, som man mente styrede dem. Reisch var dog skeptisk over for astrologiens værdi, og han mente, at Gud kontrollerede verden, som bedst kunne forstås ved læsning af Bibelen og brug af fornuften.

aristoteliske opfattelser fandtes stadig, endda helt frem til 1600-tallet, hvor der så til gengæld opstod radikalt andre ideer. Men indtil da udvikledes de aristoteliske og ny-platoniske opfattelser sig synkront – og på mange måder kan man sige, at de i forhold til naturvidenskaben ikke adskilte sig synderligt fra hinanden. De baserede sig f.eks. begge på, at man kunne tænke eller føle sig frem til sandheden – man behøvede ikke at basere sig systematisk på observation og eksperiment, når man skulle udvikle teorier.

I løbet af 1500-tallet optræder en række forskere og tænkere, der går et skridt videre i retning af en naturvidenskab. De begyndte at opfatte mennesket som i stand til *empirisk* at erkende processer i naturen. For en forsker som Pietro Pomponazzi (1462-1525) er naturen et lukket mekanisk system, der netop skal studeres empirisk. For lægen, teknikeren og matematikeren Geronimo Cardano (1501-76) er naturen stadig besjælet, dog på en sådan måde, at der ikke kræves magi for at omgås og forstå den, men sådan, at det er muligt at opnå lovmæssig erkendelse. Følger man Pomponazzis og Cardanos tænkemåder, er der således mulighed både for spekulativ naturfilosofi og for empirisk naturvidenskab. Det er en distinktion, der på dette tidspunkt ikke er etableret, og som først for alvor blev udfoldet i løbet af 1600-tallet.

## Det dobbelte bogholderi og centralperspektivet

Et vigtigt fænomen i renæssancens blomstrende handel var regnskaber. Regnskabet baserede sig på optælling og på simple manipulationer med tal. Handlen forudsatte også måling og samfundsmæssigt fastsatte måle-normer, som vi kender det i form af f.eks. meter, kilogram og liter. Handelsregning var derfor noget meget afgørende, og det skabte behov for nye former for uddannelse. De etablerede universiteter underviste nemlig kun i geometri – sådan som grækerne krævede det. Men måling og handel krævede arbejde med tal. Flere af renæssancens store kunstnere var både malere og underviserne i talregning – de var interesseret i korrekt repræsentation af virkeligheden både plastisk og matematisk, hvilket ofte var to sider af samme sag. To fænomener er her interessante. På den ene side det pålidelige talbaserede bogholderi, det vi kalder det dobbelte bogholderi, og på den anden side det geometriske centralperspektiv, der muliggør en korrekt afbildning af en tredimensional virkelighed i form af et fladt billede.

Det dobbelte bogholderi beskrives første gang hos regnelæreren og matematikeren Luca Pacioli (1445-1514) i en større lærebog fra 1494, *Summa de Arithmeticā, Geometriā, Proportioni et Proportionalitā*, hvori han opsummerer samtidens kunnen inden for matematik. Det var ikke noget originalt værk, men var karakteristisk for sin samtid ved, at det ikke var skrevet på latin, men på en toskansk dialekt, og at det blev udgivet som bogtryk og dermed blev meget udbredt.

Det dobbelte bogholderi baserer sig på den ide, at man ved at opgøre udgifter og indtægter på to forskellige måder kan opnå en højere grad af sikkerhed og korrekthed end ved blot at føre en enkelt liste over indtægter og udgifter. Enhver transaktion indføres i bøgerne to gange, som kredit og som debit. Derved kan man se, om der er balance, ud fra en ligning om at debit-bevægelernes sum skal være lig kreditbevægelernes sum. Man kan sige, at det dobbelte bogholderi er en algoritme, der sikrer, at man til enhver tid kan få et billede af sin aktuelle økonomiske situation. Man kan både se, hvad man har til rådighed likvidt, og hvad man totalt set ejer, dvs. om de indtægter og udgifter man nu har, de fordringer man har, og den gæld man har, faktisk sikrer, at man som virksomhed kan overleve.

Alt dette hænger nøje sammen med fremkomsten af nye former for økonomisk samarbejde og nye former for risikotagning. Der opstod i renæssancen større firmaer – ofte baseret på kortvarige former for samarbejde som f.eks. finansieringen af en handelsrejse med skib – og man forsøgte at være flere om investeringerne, risikoen og udbyttet. Nogle har sagt, at det dobbelte bogholderi og den moderne kapitalisme er to sider af samme sag. Sikert er det i hvert fald, at ideen om at drive virksomhed og forretning for vinding forudsætter, at man kan finde ud af, om man vinder eller taber. Senere opstår netop sandsynlighedsbegrebet og sandsynlighedsregningen ud fra tilsvarende spil-situationer, hvor man forsøger at finde ud af, om der er chance for gevinst eller ej.

Det dobbelte bogholderi er måske den første praktiske anvendelse af dels de nye arabertal dels idéen om en algoritme, som bliver skabt i Europa. Man havde lært at regne med tallene af araberne, og senere skulle europæerne i 1600-tallet skabe begreber om sandsynlighed og senere igen statistik – udvidelser og anvendelser af matematikken, der slet ikke forelå hos de græske og arabiske matematikere. Det dobbelte bogholderi er også det første eksempel på, at man kan have tillid til noget, der kan udtrykkes i tal, og

som er resultat af en måling. Regnskabet er en abstrakt repræsentation, der skal vise en forretnings finansielle situation. Det er i overført betydning et billede, hvorfor man stadig i dag siger, at et regnskab skal give et “retvisende billede” af situationen. Regnskabet og dets tilhørende metoder og begreber forblev – lidt ligesom bogtrykket – uændret i meget lang tid. Og essentielt er de metoder, der anvendes i dag, de samme som i renæssancens handels- og bankhuse.

Regnskabet baserer sig på tal og måling. Ud fra dets praksis kan man nemt slutte, at kun det, man kan aflægge regnskab for, er noget, man har. Dermed kan man gå videre og sige, at kun det, der er repræsenteret i regnskabet, er virkeligt. Repræsentationen skaber på en vis måde kriteriet for, hvad der er virkeligt. *Kun det målelige er virkeligt*. Det er en helt central ide for videnskab og teknologi i Europa.

Perspektivet beskrives første gang udførligt i et værk af humanisten og arkitekten Leon Battista Alberti (1404-72) fra 1435. Det er en geometrisk konstruktion, der baserer sig på visse optiske anskuelser om synsfeltet og om lyset. Derudover forudsætter det en bestemt opfattelse af, hvad et billede grundlæggende er. Før perspektivet var billeder repræsentationer af og symboler på det, der blev opfattet som virkeligt. Men de skulle ikke nødvendigvis *ligne* virkeligheden, sådan som vi ser den, dvs. der var ikke noget krav om illusion. Afbildede personers størrelse afhæng således ofte af deres status i det samfundsmæssige eller religiøse hierarki, og herskeren eller Kristus kunne fremstå som de rene kæmper i forhold til menigmand.

Ligesom det dobbelte bogholderi på det talmæssige og økonomiske område satte en standard for afbildung og nøjagtighed, satte perspektivet en standard for, hvad det vil sige for et billede at gengive virkeligheden korrekt. De første perspektiv-billeder fremkommer omkring 1425. Mange kunstnere havde før da forsøgt at skabe indtryk af rumlighed. Men en egentlig geometrisk teori om, hvordan man omsætter et tredimensionalt synsindtryk til et tilsvarende todimensionalt, fremkommer først med Alberti. Ingeniøren og arkitekten Filippo Brunelleschi (1377-1446) udførte omkring 1430 et forsøg, der gik ud på at se på et motiv i et spejl og derefter male motivet sådan, at hvis man erstattede spejlet med maleriet, ville man ikke kunne se forskel. Et sådant billede ville for Brunelleschi være et “korrekt” billede.

To ting er vigtige i et perspektivisk billede: at der er et fælles forsvindingspunkt, og at horisonten og forkortningen imod horisonten er korrekt.



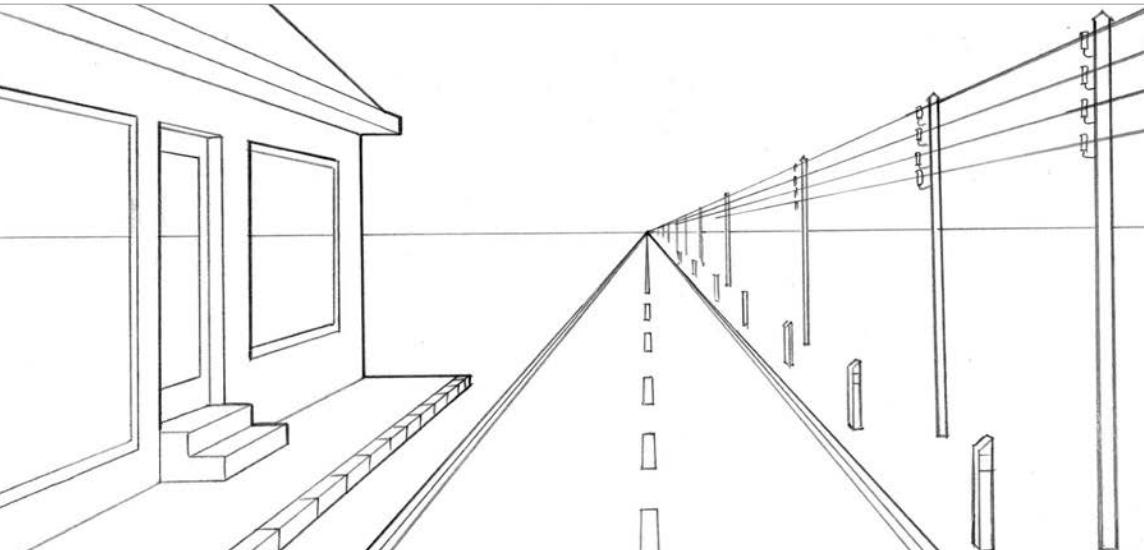
Den første korrekte brug af centralperspektivet tilskrives i dag Masolino da Panicale (1383-1440) *La Resurrezione di Tabita* fra 1424-25. Bemærk, at forsvindingspunktet er i øjenhøjde på muren af det bagvedliggende hus, hvilket giver illusionen af, at billedet ses af en betragter, som står på pladsen. Denne fuldstændige integration af alle billedeets horizontale linjer kan kun opnås ved en eksplisit implementering af centralperspektivet. Cappella Brancacci, Firenze.

Ellers vil f.eks. vandrette ternede gulve ikke se vandrette ud på billedet. Perspektivet forudsætter en opfattelse af synet og lyset, der siger, at lyset kommer ind i øjet udefra, og at lyset bevæger sig i rette linjer. Derudover skal man have en forståelse af den forkortning, der sker med tingene, når de fjerner sig

fra os. Ellers vil en række master af samme højde, der står langs en lige vej, komme til at se ud som om, de har forskellig højde.

Mange har fremsat teorier om, hvordan og hvorfor perspektivet netop opstår i Firenze i første halvdel af 1400-tallet. Man ved bl.a., at der i 1428 kommer et geografisk værk af Ptolemaios om kort og kortproduktion til Firenze. Og da kortproduktion drejer sig om det samme som perspektivet – at afsætte noget tredimensionalt på et plant stykke papir – har Brunelleschi måske været inspireret af Ptolemaios' studier.

Muligvis var Brunelleschi også inspireret af den fascination af symmetri og rumlighed, som blev dyrket i renæssancens boliger, haver og byanlæg. Fyrsten eller storborgeren viste sin magt i sin evne til at ordne omgivelserne, og orden var baseret på symmetri. Det var omverdenens empiriske egenskaber, hvordan verden faktisk så ud, der interesserede. Der skulle skabes et billede, og billedet skulle ikke kun oplyse træk ved virkeligheden, men lige-frem kunne erstatte den. Man kunne således sidde i en højt placeret loggia



og se ud på byen eller landskabet, men man kunne også sidde i sin spisestue og betragte billeder af byen eller landskabet på væggene. Oplevelsen skulle være den samme.

Renæssancens billeder lavet med centralperspektiv forsøgte ofte at efterligne, hvad en person ville se, hvis vedkommende stod på det sted, hvorfra billedet er set. Denne ide forudsætter, at billedet forstås som bevidsthedsindholdet hos en person. Perspektivbilledet indeholder altså indirekte en person, nemlig den, der observerer motivet et bestemt sted fra. Denne *tilstede værelse af et subjekt* er noget helt afgørende. Et kalkmaleri fra middelalderen er f.eks. ikke et billede i samme forstand: det afbilder en scene fra Bibelen, men scenen er ikke set et bestemt sted fra eller forsøgt gengivet, sådan som en betragter ville have oplevet den. I renæssancen ser maleren ud i verden, og verden påvirker ham via lyset, og igennem denne påvirkning opstår indholdet i malerens bevidsthed. Maleren forsøger så – igennem perspektivets regler – at gengive det, han oplever. Maleren er subjektet, der er til stede i billedet.

I renæssancen får netop subjektet og det individuelle en ny status. Ikke kun i malerkunsten, men også i filosofien, i naturen, i forståelsen af historien, i litteraturen og i livsformerne i almindelighed træder det enkelte menneske frem som et fokuspunkt, hvorfra altting kan ses.



## Den videnskabelige revolution – opgøret med Aristoteles

Fra midten af 1500-tallet og i hvert fald to hundrede år frem foregår konstante ændringer i opfattelsen af verden og ikke mindst af, hvad det overhovedet vil sige at vide noget om den. Det kaldes ofte ”den videnskabelige revolution”, selvom der ikke er tale om ændringer fra det ene år til det næste, men om langstrakte forandringer. Termen er dog ikke helt ved siden af, da der rent faktisk sker en række voldsomme ændringer, som – selvom de er gradvise og længerevarende – er knyttet til få markante fænomener og centrale personer. Perioden er starten på moderniteten, og det er en periode, hvor fornuft, videnskab og rationalitet erstatter tradition, åbenbaring, religion og overtro.

Processen starter i 1543, hvor Nikolaus Kopernikus fremlægger sit verdensbillede med Solen i centrum af universet, og den kulminerer i 1684 med fremlæggelsen af Isaac Newtons (1642-1727) mekaniske fysik i værket *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (”Naturfilosofiens matematiske principper”). Den ebber ud i løbet af 1700-tallet, hvor universiteter og de dannede kredse rimelig bredt har accepteret hovedindholdet af naturvidenskabens resultater. Dermed er revolutionen så at sige forbi, og erstattet af en art permanent forandringstilstand, hvor videnskabens udvikling ses som noget normalt. Alligevel er det først i vort århundrede, at man for alvor har accepteret, at der ikke bare én gang kan ske en videnskabelig revolution, men at der principielt kan være revolution på revolution i en uendelighed – dvs. at det videnskabelige verdensbillede aldrig én gang for alle vil være etableret. Langsomt sker der også ændringer i samfundets teknologi, hvilket

Det var ikke nemt at tegne et korrekt perspektivisk billede, og derfor blev der udviklet en række hjælpemidler, bl.a. en pind foran øjet og et gitter, der skulle placeres foran objektet. Her er teknikken gengivet i et træsnit af Albrecht Dürer (1471-1528) fra 1525.

er knyttet til den større og større videnskabelige viden, og det muliggør igen ændringer i produktionssystemet. Der sker også politiske ændringer – i 1600-tallet den engelske revolution og i 1700-tallet den franske – der er tæt knyttet til en række af de forestillinger om fornuft, som er centrale i den videnskabelige revolution.

Den videnskabelige revolution betyder en gradvis afvikling af middelalderens og renæssancens voldsomme tillid til Aristoteles. Man ønsker noget nyt, nye indsiger og modeller, og nye forestillinger om, hvad viden er, og hvad den gør godt for. Viden bliver først og fremmest knyttet til *eksperiment* og *observation*. Det er hverken åbenbaringer eller fornuften i sig selv, der giver viden, den opstår derimod i samspillet mellem en tænkende og handlende forsker og naturen. Forskeren stiller spørgsmål til naturen, som denne så besvarer i eksperimentet eller observationen, der nu typisk kan ske ved hjælp af sindrige instrumenter som kikkerter og mikroskoper, der selv bygger på videnskabelige teorier. Viden bliver lokaliseret hos forskeren, i det tænkende subjekt, men samtidig organiseres disse tænkende og diskuterende subjekter på nye måder. Der opstår den institution, vi kalder videnskaben. Den består f.eks. af videnskabelige selskaber, der offentliggør forskningsresultater i videnskabelige tidsskrifter, eller i netværk af forskere, der korresponderer og diskuterer. Disse forskere og videnskabelige selskaber begynder også at bidrage til løsning af væsentlige praktiske problemer, f.eks. kortlægning og navigation, ligesom de involverer sig med forbedring – videnskabeliggørelse – af mange praktiske aktiviteter, f.eks. landbrug og gartneri.

Videnskabelige ekspeditioner undersøger og kortlægger Jorden og bidrager til at ændre på handel og søfart. Langsomt ændres de vestlige samfunds uddannelsessystemer, så videnskabelig uddannelse bliver sideordnet, senere måske endda overordnet, den klassiske dannelses. Universiteterne afvikler langsomt den aristoteliske og antikke lærdomstradition og erstatter den med én, der er baseret på den videnskabelige revolutions idealer om erfaringsfunderet og kritisk efterprøvet viden. Laboratorier, anatomiske studiesale, observatorier med kikkerter og feltstudier bliver naturlige elementer i den studerendes liv.

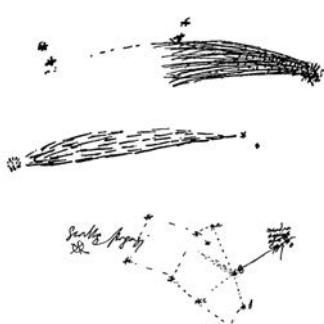
Man kan måske sige, at starten på udgivelsen af Den Store Franske Encyklopædi i 1751 markerer afslutningen på den videnskabelige revolution. Efter en revolution skal resultaterne konsolideres, og det er encyklopædien

en start på. Derefter sker det ved udviklingen af et vidensproducerende system, hvor forskningsinstitutioner, læreanstalter, eksperter, industrilaboratorier osv. indgår som helt centrale elementer.

Den videnskabelige revolution ændrer på forholdet mellem filosofi og videnskab, og den etablerer en bestemt forestilling om, hvad der udgør videnskabelig viden. Den giver også elementer af en verdens- og naturopfattelse. Man siger ofte, at verdensbilledet bliver *mekanisk*. Verdensbilledet – forestillingen om, hvad der er virkeligt og væsentligt – og naturopfattelsen – forestillingen om den fysiske verdens indretning og væsen – bliver næsten sammenfaldende i ideen om, at naturen dybest set er en art særlig kompleks maskine, og at den fysiske verden – universet – dybest set er det eneste virkelige, i modsætning til et verdensbillede, hvori der f.eks. indgår engle og andre typer åndelige væsener. Det giver igen anledning til overvejelse af forholdet mellem religion og videnskab. Hvor religionen med sine åbenbarede sandheder i middelalder og renæssance havde en selvfølgelig og gudgivne autoritet, trænges den nu mere og mere tilbage af viden baseret på eksperiment og observation.

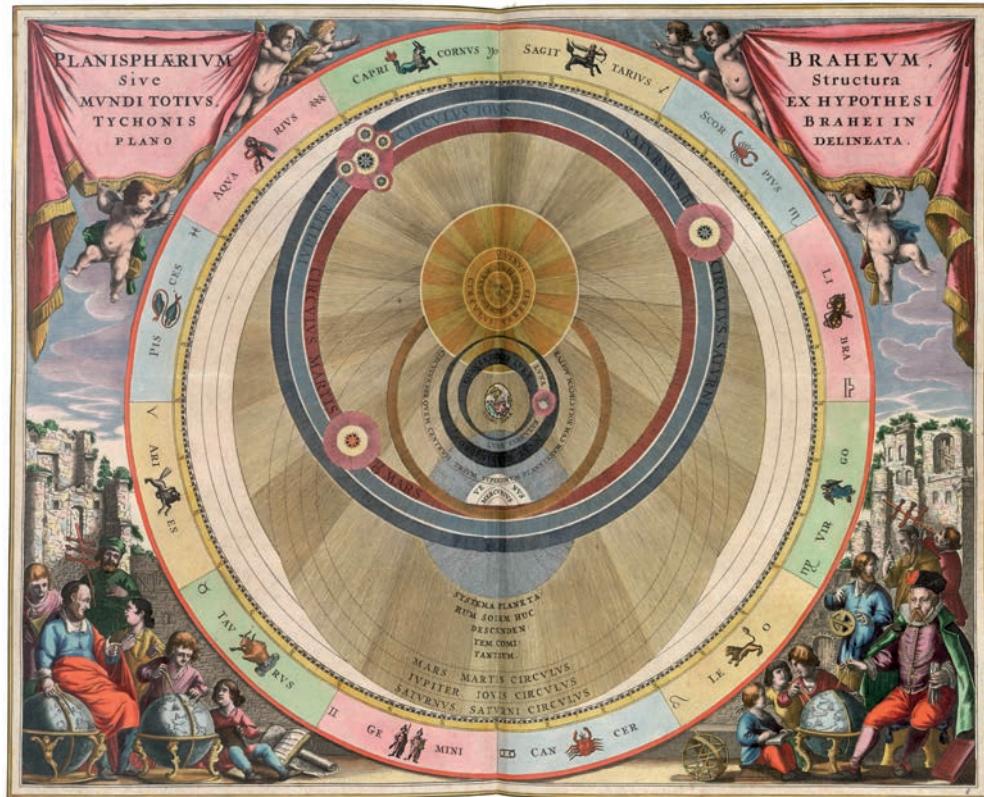
## Kortlægningen af den ydre og indre verden

Et afgørende element i den videnskabelige revolution var således opgøret med aristotelismen. Det fremstilles ofte på den måde, at de afgørende personer – Bacon, Galileo, Descartes – opgav troen på den aristoteliske autoritet og i stedet indsatte troen på egen erkende- og tænkeformåen. I virkeligheden ligger den tendens i renæssancen som sådan. Den danske astronom Tycho



Tycho Brahes skitser af den komet, han så i 1577 · Det Kongelige Bibliotek.

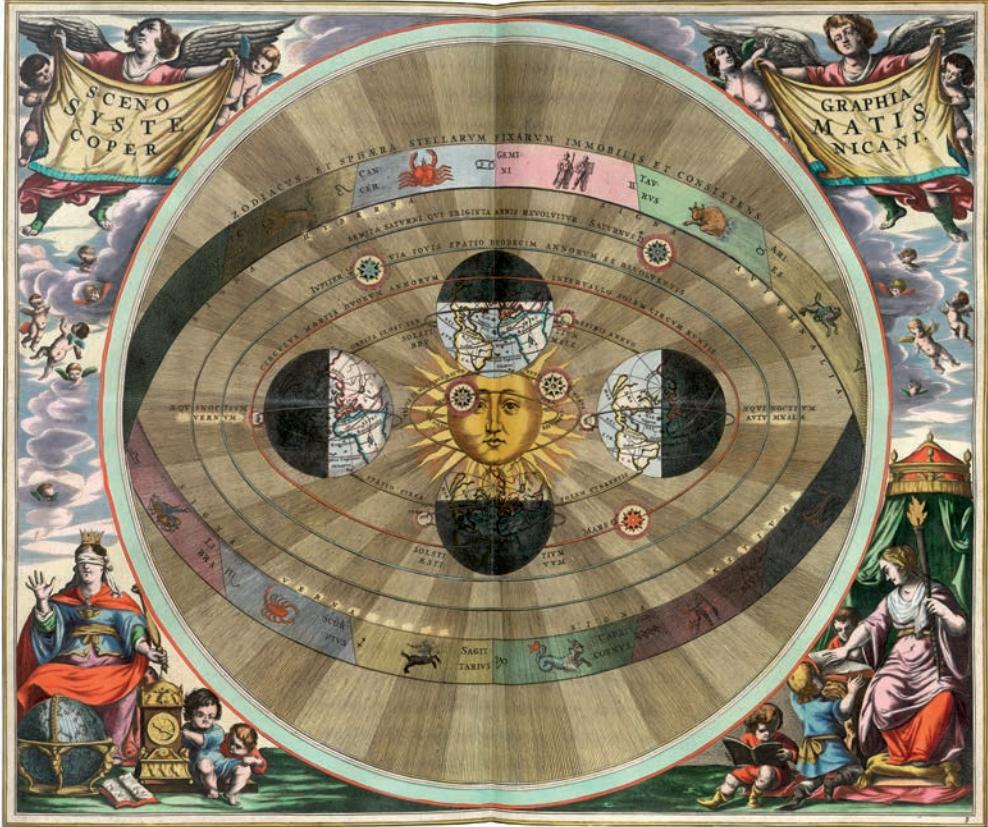
Brahe (1546-1601) er et eksempel. For en aristoteliker var den himmelske sfære en evig og uforanderlig verden, hvor stjernerne var faste, og planeterne bevægede sig omkring Jorden i baner styret af helt andre love end dem, der var gældende på Jorden. Matematik – i form af geometri – kunne beskrive disse himmelske fænomener. I året 1572 observerede Tycho Brahe en ny stjerne, hvis udvikling han fulgte frem til 1574, hvor den ikke længere kunne ses. I 1577



observerede og målte han på en komet, hvis bane var således, at den nødvendigvis måtte flyve igennem flere af de aristoteliske sfærer, som planeterne bevægede sig på (s. 37). En foranderlig stjerne og et himmellegeme, der bevægede sig på tværs af planetsfærerne, var begge fænomener, som på ingen måder passede ind i det aristoteliske verdensbillede: det foranderlige tilhørte Jorden, og planetsfærerne var en art faste kugler, som intet burde kunne passere igennem.

Brahe begyndte, som adskillige andre, at tvivle på det aristoteliske verdensbillede og den aristoteliske videnskab. Opgøret var startet i begyndelsen af 1500-tallet, da den polske læge, præst og astronom Nikolaus Kopernikus (1473-1543) arbejdede med et verdensbillede, hvor Solen, ikke Jorden, var i centrum af planetssystemet. En sådan model kunne løse ganske mange problemer. F.eks. opførte planeterne Merkur og Venus sig anderledes, end de andre planeter, fordi de cirklerede omkring Solen i baner inden for Jordens cirkelbane, og Mars og andre planeter bevægede sig både frem og tilbage på

Tycho Brahes opfattelse af universet. Fra Andreas Cellarius' *Atlas Coelestis seu Harmonica Macrocosmica*, Amsterdam 1660.



Kopernikus havde foreslægt en model af universet baseret på nogle simple antagelser, nemlig at Solen var i centrum, og at planeterne bevægede sig i cirkler udenom. Fra Andreas Cellarius' *Atlas Coelestis seu Harmonica Macrocosmica*, Amsterdam 1660.

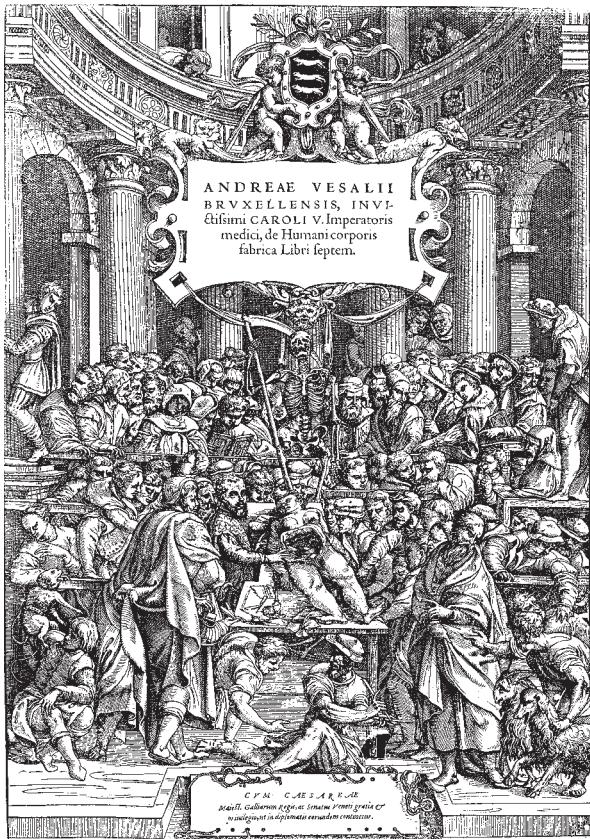
Det var nemt at forklare, hvis man antog, at de observeredes ikke fra et centrum i universet, men fra en planet, der selv cirkulerede omkring et centrum. Det betød samtidig, at man måtte antage, at Jorden selv drejede sig om sin akse én gang i døgnet, ellers kunne man ikke forklare Solens og stjernernes tilsyneladende rotation.

Men få fænomener syntes at understøtte en påstand om, at mennesket stod på en jordoverflade, der bevægede sig rundt i voldsom fart, som en art karrusel. Og hvis Jorden bevægede sig i en stor cirkel omkring Solen, burde sigtevinklerne til stjernerne ændre sig året igennem. Det var også svært, med datidens instrumenter umuligt, at observere. Så det var en dristig hypotese, og den stred imod religionens dogmer. I 1543, samme år som han døde, offentliggjorde Kopernikus sine teorier i værket *De Revolutionibus Orbium Coelestrium*. En udgiver skrev et forord til værket, hvori det blev fremstillet

himlen. Det var nemt at forklare, hvis man antog, at de observeredes ikke fra et centrum i universet, men fra en planet, der selv cirkulerede omkring et centrum. Det betød sam-



Frontispice og indhold fra Andreas Vesalius' *De humanis corporis fabrica*, 1543.



mere som en for beregninger praktisk hypotetisk model, end som en faktisk beskrivelse af, hvordan verden var indrettet. Mange læsere tog det dog bogstaveligt. Alligevel troede Kopernikus stadig på planetsfærer, dem, som Brahes teori om kometer satte spørgsmålstege ved. Så det var ikke alt, der blev kuldkastet med ét. Men en proces var sat i gang.

Samme år som Kopernikus' bog blev offentliggjort, kom der en anden betydningsfuld og fremragende bog: Andreas Vesalius' (1514-64) *De humanis corporis fabrica*. Vesalius var anatom ved universitetet i Padova, født i Bruxelles. Han var utilfreds med den overleverede anatomi, der stammede fra den romerske læge Galen (ca. 129-199), og gav sig til selv at studere lege- met. Det var noget, samtidens kunstnere opfordrede til og ofte selv gjorde – mest kendt er Leonardo da Vincis anatomiske studier. Vesalius opdagede, at flere overleverede anskuelser var forkerte. Man troede f.eks., at mænd havde flere ribben end kvinder. Vesalius viste, at det var forkert. Han tvivlede også på den aristoteliske teori om, at hjertet var sæde for følelserne, og pege-

# TYPVS ORBI



Dette første verdensatlas *Theatrum Orbis Terrarum* (Verdensteatret) fra 1570 blev lavet af Abraham Ortelius af Antwerpen (1527-98) efter opfordring fra hans gode ven Mercator.

# S TERRARVM.



M IN REBUS HUMANIS, CVI AETER-  
I NOTA SIT MAGNITVDO. CICERO:

Atlasset blev solgt i mange eksemplarer både på latin, flamsk, fransk og tysk. Læg mærke til den meget forkerte form af Sydamerika, hvilket blev rettet i den franske udgave i 1587.

de på, at det nok snarere var hjernen. Vesalius' bog var banebrydende både ved at skabe grundlaget for en videnskabelig og på observation baseret anatomi, og ved at være en uhørt velillustreret lærebog, der satte standarden for videnskabelige bøger i de følgende århundreder.

Næsten samtidig arbejdede geografen og kartografen Gerardus Mercator (1512-94) i Flandern med at fremstille ikke et anatomisk atlas, men et atlas over Jorden. Det blev offentliggjort i 1578. Han fremlagde også kort i en bestemt projektion, "Mercators projektion", der var af afgørende betydning for søfarten – nutidens søkort er stadig i denne projektion. Den har den afgørende egenskab, at den er vinkelbevarende. Med et sådant kort og et kompas kan man navigere meget effektivt med, idet kompasset netop viser vinklen mellem retningen til Nord og den vinkel, man bevæger sig efter. Mercator lagde typisk vægt på, at hans arbejde ikke bare var noget, der gav viden, men at denne viden også kunne anvendes i praksis.

Kopernikus, Vesalius og Mercator kunne fremlægge deres ideer og resultater i trykte bøger, der kunne sælges på et stort set frit marked. Og de kunne supplere teksten med billeder fremstillet ved gravering, hvilket muliggjorde en hidtil uset illustrationskvalitet. For anatomi og kartografi var det selvsagt revolutionerende. Først med fotografiets fremkomst sker der igen en væsentlig ændring.

## Lad kendsgerningerne tale

Omkring 1600 begyndte en ny fase. I dette år fik den katolske inkvisition den mystisk inspirerede munk Giordano Bruno (1548-1600) brændt for nogle kontroversielle anskuelser om verdens indretning. De var inspireret af Kopernikus' ideer, sammentænkte Gud og naturen, og indeholdt et opgør med det aristoteliske verdensbillede. Samtidig med denne kætterbrænding blev der flere steder startet nyt, afgørende arbejde. I England formulerede embedsmanden og filosoffen Francis Bacon (1561-1626) et nyt anti-aristotelisk forskningsprogram i en række værker. Der skulle en ny begyndelse til, noget Bacon klart antydede i sine valg af titler: *Novum Organum* ("Nyt Værktøj") og *Great Instauration* ("Den store Genopbygning"). I Prag arbejdede astronomen Johannes Kepler (1571-1630) med en revidering af Kopernikus' beskrivelse af solsystemet på basis af Tycho Brahes omhyggelige og for samtiden uhyre nøjagtige observationer af planeter og andre him-

melfænomener. Og endelig i Pisa og senere Padova begyndte Galileo Galilei (1564-1642) at studere bevægelsesfænomener uden på forhånd at antage, at Aristoteles' teori om bevægelse var korrekt.

Kepler var i begyndelsen aristoteliker, men på et tidspunkt – formodentlig omkring 1605 – afsvor han sig disse anskuelser og ville starte på en frisk. Det skulle ske med nye instrumenter, først og fremmest kikkerten. Men som altid er det svært at være nyskabende på alle områder. Det var således en lang og træg proces, snarere end en pludselig revolution. Men det centrale var, at han ville foretage observationer og eksperimenter. Kepler og andre forskere opdagede dog hurtigt, at det er vanskeligt at forstå og fortolke observationer og eksperimenter, uden at man har nogle hypoteser og teorier at gøre det ud fra. Man kan sågar afvise relevansen af f.eks. observationer og eksperimenter – dengang kunne man f.eks. opleve forskere, der nægtede at godtage observationer foretaget med kikkert, fordi man her ikke så genstanden direkte, men igennem et rør og igennem glas. Hvordan kunne man vide, at kikkerten gav et korrekt billede af virkeligheden? Selvfølgelig kun ved at acceptere en teori om, hvordan kikkerten virker, dvs. optik. Og denne optiks gyldighed kunne der også være stor uenighed omkring. Man manglede ganske simpelt et fælles, anerkendt fundament at arbejde ud fra.

Men grundlæggende var den nye videnskabelige attitude, at man skulle basere sig på observation, på det man kunne se med egne øjne. Det blev tolket som at ”læse i naturens bog”, snarere end i andre forfatteres bøger. Alle de, der skabte den moderne videnskab – Bacon, Galileo, Boyle, Newton m.fl. – fokuserer på det helt afgørende i, at man holder sig til, hvad man *selv* kan se, og ikke til hvad andre fortæller. Det bliver til begrebet om ”kendsgerningerne” og deres tale. Det måske mest kendte eksempel, på hvad egen observation kan medføre, er Galileis oplevelser med kikkerten. I begyndelsen af 1600-tallet var kikkerten opfundet, og Galilei fik et eksemplar. I årene 1608-9 rettede han så denne kikkert imod himlen. Og det, han så, stred klart imod, hvad han efter autoriteterne burde se. Der var mange flere stjerne på himlen end de, man kunne se med det blotte øje. Månen havde noget, der lignede bjerge, den var ikke en glat kugle. Venus havde faser ligesom Månen, og der var måner omkring Jupiter. Verden var helt anderledes indrettet, end den ifølge de gældende bøger burde være.

Galilei publicerede sine observationer i bogen *Siderius Nuncius* (”Stjernebudbringeren”) i 1610. Denne bog skabte sensation og gjorde Galilei



Den romersk-katolske kirke ville som bekendt ikke selv se efter i kikkerten, hvilket førte til en af de mest berømte retssager i verdenshistorien. På baggrund af sin bog *Dialogerne om de to verdenssystemer* blev Galileo Galilei i 1633 sat i husarrest. Først i 1992, 350 år efter Galileis død, indrømmede paven, at kirken havde behandlet sagen uheldigt, dog uden at indrømme, at kirken havde gjort en fejl ved at dømme Galilei for kætteri på basis af hans tro på, at Jorden drejer rundt om Solen. Her ses Galileis kikkerten, der i 1620 allerede kunne forstørre 30 gange.

berømt. Han havde med egne øjne – godt nok igennem en kikkert – set, at den aristoteliske videnskabs dogmer ikke passede med kendsgerningerne, med hvad man selv kunne se.

I enhver forskning er der imidlertid også tale om et intrikat samspil imellem fornuften og kendsgerningernes tale. Man kan tænke sig til en række ting, hvis man bare starter fra de rigtige udgangspunkter. Disse må være selvindlysende i den betydning, at de ikke baserer sig på nogen særlig autoritet eller overlevering, som ikke direkte kan efterprøves. Euklids geometri kan accepteres, mens aristoteliske påstande om, at alt søger imod Jordens centrum, fordi det er tingenes naturlige plads, ikke kan accepteres. Vi kan følge Euklids tanker, hvorimod Aristoteles' faktisk udelukker mange fænomener, som kan observeres i hverdagen.

Man stod altså på denne tid i et skisma: hvordan tænke over verdens fænomener, hvis det ikke skulle ske aristotelisk? Den nye måde blev den matematiske, som bl.a. Kepler, Galileo og Descartes tilsluttede sig. Tanken var, at det måtte være muligt at anvende matematisk tænkning på naturen, og at sammenknytningen skulle ske via målinger. Men måling resulterer i tal, og den overleverede matematik var geometrisk funderet. Det var derfor et afgørende problem at få skabt en matematik, der muliggjorde sammenknytning af observation, eksperiment og teori.

Den centrale skikkelse, der skabte sammenhængen mellem måling og beregning, var René Descartes (1596-1650). Med sit arbejde inden for matematikken viste han, hvordan det er muligt at udtrykke geometriske sammenhænge med en aritmetisk – dvs. talbaseret – matematik. Koordinatsystemer og ligninger blev den centrale måde at udtrykke viden og naturlove på. Linjer, parabler, cirkler og ellipser kunne beskrives aritmetisk, og det er muligt at omsætte tal til kurver og kurver til tal. Det kaldes den analytiske geometri.

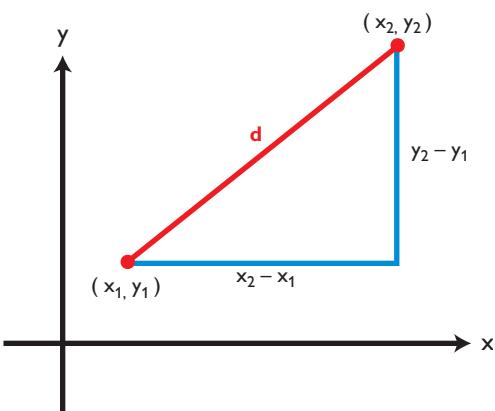
Man mente, at viden om naturen var matematisk, fordi naturens bog var skrevet i matematikkens sprog. Men matematikkens sprog ændrede sig lang-

somt til at være *tallenes* tale – den gik fra at være geometrisk til at blive aritmetisk. Det var en proces, der var fuldt gennemført efter midten af 1600-tallet. Tycho Brahe spillede en væsentlig rolle i denne udvikling med sine målinger i slutningen af 1500-tallet, der blev foretaget med stadig større nøjagtighed. Han samlede tusindvis af astronomiske observationer og arbejdede målrettet med at udvikle måleinstrumenter. I løbet af 1600-tallet udvikledes mange andre måleinstrumenter. Nøjagtigere ure, der kunne måle ikke kun tid som klokkeslæt, men netop tidsintervaller, dvs. hvor lang tid en bestemt proces tager. Termometre til måling af temperatur, barometre til måling af tryk, vægte til måling af masse osv. Udvikling af måleinstrumenter krævede også fastlæggelse af måleskalaer og måleprocedurer. Og det krævede teorier om, hvad det egentlig var, man målte – og teoretiske begrundelser for, at man faktisk kunne måle et bestemt fænomen med en bestemt metode.

Et berømt eksempel er lufttrykkets ændring, når man stiger op ad et bjerg. Dette problem hang nøje sammen med diskussionen om muligheden for det tomme rum, og forståelsen af hvad luft og lufttryk egentlig er. Hvis trykket faldt, når man steg opad, ville det bidrage til at bekræfte en teori om, at der var et lufttryk, og at det skyldtes vægten af den luftsøjle, der befandt sig over en. Hvis man steg op, ville denne vægt blive mindre, fordi luftsøjen ”blev kortere”, og en måling af trykket skulle kunne vise dette. Et barometer kunne altså være en art højdemåler. Men målingen krævede målemetoder med rimelig stor nøjagtighed og en brugbar måleskala. Matematikeren og filosoffen Blaise Pascal (1623-62) var involveret i netop disse problemer omkring teorier for tryk, og hans bror steg i 1648 op på et bjerg i Midtfrankrig og viste, at trykket vitterligt faldt, når man steg opad.

Galilei arbejdede med det frie fald og med en kugles bevægelse ned ad et skråplan. Det involverede også måling, nemlig af tid og af længde. Tidsmåling var

Descartes' analytiske geometri gjorde, at man kunne beskrive geometriske kurver på en algebraisk form ved at bruge det cartesianske koordinatsystem. F.eks. ville man kunne finde afstanden  $d$  mellem hvilke som helst punkter  $(x_1, y_1)$  og  $(x_2, y_2)$  i det cartesianske koordinatsystem ved at bruge Pythagoras' sætning, dvs.  $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ .





især et problem. Galilei havde allerede som ung observeret, at et pendul svingede med konstant svingningstid. Det blev en central faktor i udviklingen af nøjagtigere ure. Aristoteliske fysikere hævdede, at en genstand, der bevæger sig, har en hastighed, der er proportional med den kraft, der påvirker genstanden. Ville man forsøge at vise, at det var tilfældet, skulle man altså kunne måle både kraft og hastighed. Men man manglede ganske simpelt en brugbar teori om kraft. Galileo begyndte arbejdet med at udvikle en teori om bevægelse, og han opdagede, at den aristoteliske teori var forkert. I stedet beskrev han lovene for en jævnt accelererende bevægelse, sådan som han kunne observere dem.

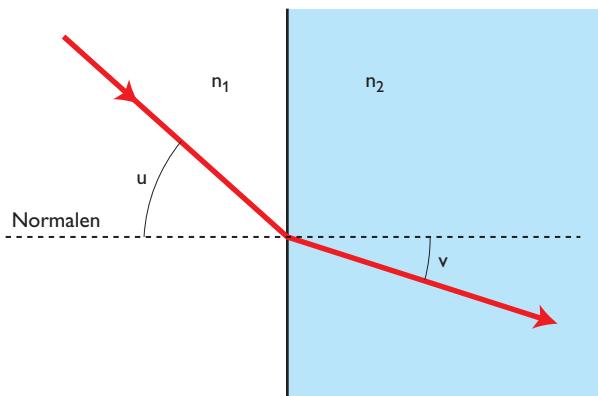
Galilei udviklede også en geometrisk model for et legeme i frit fald, som så kunne sammenknyttes med det observerede. Ud fra denne kunne han drage en hel række af væsentlige slutsninger. Først og fremmest den, at under et frit fald er det accelerationen, der er konstant, og ikke hastigheden. Ved jævn hastighed, eller ved hvile, er der ikke nogen påvirkning. Dynamisk set er jævn bevægelse eller ingen bevægelse ikke til at skelne fra hinanden. Man kan altså ikke umiddelbart skelne mellem, om man befinner sig på en Jord, der er i hvile i universets centrum, eller en Jord, der med jævn hastighed bevæger sig rundt om

Galileo Galilei opdagede bl.a., at tætheden af en væske ændrer sig alt efter temperaturen. Uden at vide hvorfor det forholdt sig sådan, brugte han opdagelsen til at udvikle et tidligt termometer, det såkaldte termoskop, der indeholder små glasbobler med forskellig vægt, og som stiger op og synker ned alt efter temperaturen i rummet. Den aktuelle temperatur vises af den midterste glaskugle, som hverken flyder eller synker, men er i ligevægt med vandets massefyldte. Her ses en moderne rekonstruktion.

Solen; og heller ikke, om Jorden står stille eller roterer omkring sin egen akse med en jævn rotationshastighed. Hvad der betyder noget, er derimod acceleration. Galilei gjorde også op med forestillingen om, at accelerationen var afhængig af et legemes masse, dvs. at tunge legemer ville falde hurtigere til jorden end lette. At dette ikke kunne være tilfældet, kunne nemt indsese, hvis man f.eks. foretog et tankeeksperiment, hvor man bandt en lille og en stor kugle sammen. Hvis de to kugler hver for sig faldt med forskellig hastighed, den lille langsommere end den store, så måtte det betyde, at det sammenbundne objekt faldt langsommere, end den store kugle ville falde af sig selv, idet den lille kugle ville holde igen på den store. Men det sammenbundne objekt var jo tungere end den store kugle, og dét måtte ud fra samme regler medføre, at det faldt hurtigere end den tunge kugle. Det var en modstrid. Kun hvis de to kugler faldt lige hurtigt, kunne man undgå dette paradoks. Galilei arbejdede således ikke kun med konkrete fysiske eksperimenter og observationer, han søgte også at finde frem til, hvordan ting var, eller især ikke var, igennem tankeeksperimenter, og dermed afsløre logiske brist i tidlige teorier.

Galilei udtrykte sig stadig i et geometrisk sprog, men som nævnt arbejdede andre med at muliggøre, at natursammenhænge kunne udtrykkes i ligninger. Et af de første eksempler er loven om lysbrydning ved en lysstråles passage fra et medium til et andet, f.eks. når en lige pind, der stikkes ned i vand, opleves som knækket ved vandoverfladen. Descartes formulerede i 1637 denne lov som  $\frac{\sin(u)}{\sin(v)} = k$ , hvor u og v er vinklen mellem lysstrålen og en linje vinkelret på grænsefladen mellem de to medier, som lysstrålen passerer igennem.

Descartes brugte sin ligning til at forklare visse fænomener knyttet til regnbuer, ud fra en tese om at regnbuer opstår, når sollys brydes i vandråberne i luften ved regnvejr. Descartes kunne så forudsige forskellige forhold og ved målinger vise, at de passede med det faktisk forekommende. Det blev ligesom Galileis arbejder med det frie fald og skråplanet meget indflydelsesrige eksempler på, hvordan man som videnskabsmand burde arbejde ud fra eksperiment og observation. Ydermere kunne man ud fra eksperimenter også drage tekniske og andre praktiske konklusioner. Galilei studerede således både kanonkuglers bevægelse og bygningers strukturelle egenskaber, primært knyttet til studier af bjælkernes styrkeforhold. Det var studier, der resulterede i teorier af enorm praktisk betydning, ligesom de matematiske



Descartes' lov, også kaldet Snels lov (efter den hollandske matematiker Willebrord Snel (1580-1636), som fandt den uafhængigt af Descartes), bruges til at beregne refraktionsindekset  $k$  mellem to lysbærende medier. Den siger, at forholdet mellem de to vinkler  $u$  og  $v$ , vinkelret til grænsefladen (kaldet normalen), er det samme som forholdet mellem de to mediers refraktionsindeks  $n_1$  og  $n_2$ :  $\frac{\sin(u)}{\sin(v)} = \frac{n_2}{n_1} = k$ . Som tomelfingerregel vil lyset brydes i retning af normalen i et tættere medie som f.eks. vand, glas, krystaller osv., som det ses her.

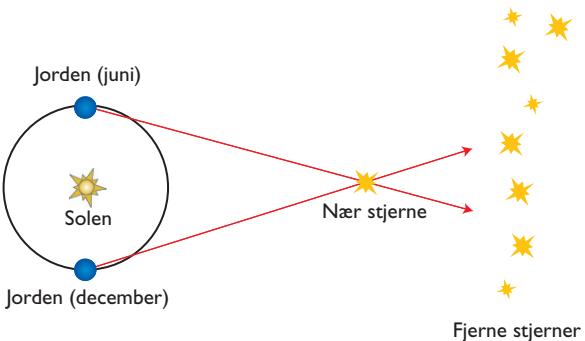
studier af lyset og dets bevægelse i linser fik enorm betydning for udviklingen af nye instrumenter, såsom mikroskop og kikkert, og for forbedring af bl.a. briller.

## Naturlove som norm

Kopernikus havde foreslået en model af universet, hvor Solen var i centrum, og planeterne bevægede sig i cirkler udenom. Men skulle dette passe med det observerede, gav det problemer. Hans system måtte modificeres, så det blev lige så komplekst som Ptolemaios' geocentriske system. Derudover var der et væsentligt problem med fænomenet parallakse, dvs. det at sigtevinklen til en stjerne ændrer sig i løbet af året, fordi Jordens position i forhold til stjernerne ikke er konstant. Men man kunne ikke måle denne forskel, som burde være der. Kopernikus' system forklarede dog, hvordan det kunne være, at en planet som Mars tilsyneladende vandrede frem og tilbage på himlen. Der var også begrebslige problemer med Kopernikus' system, for hvis Jorden bevægede sig om Solen med stor hastighed, så burde ting opføre sig anderledes, end man oplevede – en sten kastet ud fra et tårn burde f.eks. lande et stykke væk fra tårnets fod. Hvis Jorden drejer én gang på 24 timer og har en omkreds på mere end 40.000 km, burde det endda være en ret stor afstand – over 400 m, hvis faldet varede i ét sekund. For at få tingene til at hænge sammen krævedes der en helt ny forståelse af bevægelse, af de mekaniske love. Det var det, Galilei gik i gang med i begyndelsen af 1600-tallet, og som Newton fuldførte nogle årtier senere.

På basis af en meget stor mængde observationer af planeterne formule-

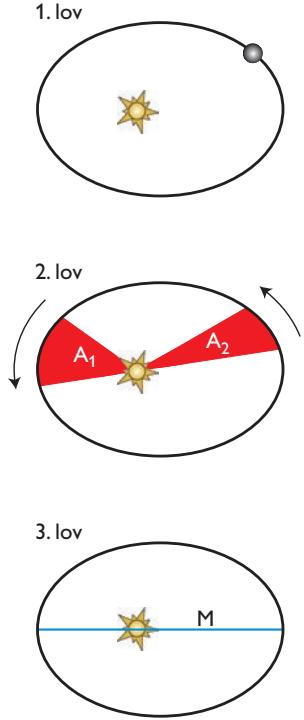
Parallakse er den tilsyneladende ændring af et observeret objekts position, der skyldes betragterens egen bevægelse. Fordi Jorden bevæger sig i en bane rundt om Solen, ser vi hele tiden himlen fra en ny position. Derfor skulle man forvente at se en årlig parallakseffekt, der faktisk ikke er nærmeste objekter til at bevæge sig frem og tilbage som følge af Jordens bevægelse om Solen. Dette finder faktisk sted, men selv de nærmeste objekter i universet befinner sig alligevel så langt væk, at der skal omhyggelige målinger udført med et teleskop til for at registrere dem.



rede Kepler i begyndelsen af 1600-tallet en modifikation af Kopernikus' system, der løste en lang række problemer. Han hævdede, at planeterne ikke bevægede sig i cirkler omkring Solen, men i ellipser, og at Solen befandt sig i et af ellipsens to brændpunkter. Endvidere mente Kepler, at en planets hastighed i banen ændres, og at der er en simpel sammenhæng imellem ellipsebevægelsen, hastigheden og afstanden til Solen, sådan at i lige store tidsrum vil en linje fra Solen til planeten afstryge lige store arealer.

Keplers love passede med observationerne, men gjorde også op med forestillingen om, at alle bevægelser i universet var simple cirkelbevægelser. Kepler forstod i første omgang planeternes bevægelse som udtryk for universets beåndethed og tænkte dem ind i en stor matematisk og mystisk sammenhæng. Senere kom han til at se planeternes bevægelse omkring Solen som udtryk for resultatet af en kraft mellem Solen og planeterne. Det var en teori, som Newton senere skulle fuldføre. For Kepler var lovene udtryk for universets harmoni, og han forsøgte at forklare sammenspiellet mellem Solen og planeterne som udtryk for en fysisk krafts virkning. Den kraft, han specielt tænkte på, var den magnetiske tiltrækning, som den engelske forsker William Gilbert (1544-1603) havde beskæftiget sig med, og som måtte spille en rolle for planeterne, da Jorden ifølge Gilbert fungerede som en stor magnet.

Det blev Newton, der i 1687 formulerede en samlet mekanisk fysik, der kunne give en beskrivelse af både de jordiske fænomener, som Galilei havde beskrevet, og af de astronomiske fænomener, som Kepler havde opdaget. Vejen hertil var dog langtfra ligetil. Galilei havde bidraget kraftigt til, at man kunne acceptere et kopernikansk verdensbillede og havde skabt basis for



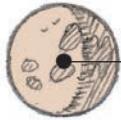
Keplers modifikation af Kopernikus' system fra begyndelsen af 1600-tallet. Hans første lov siger, at planeterne bevæger sig ikke i cirkler omkring Solen, men i ellipser, og at Solen befinder sig i et af ellipsens to brædpunkter. Anden lov siger, at en planets hastighed i banen ændres, og at der er en simpel sammenhæng imellem ellipsebevægelsen, hastigheden og afstanden til Solen, sådan at i lige store tidsrum vil en linje fra Solen til planeten afstryge lige store arealer, så  $A_1 = A_2$ . Kepler tilføjede nogle år senere en tredje lov, der sagde noget om sammenhængen mellem planeternes omløbstid om Solen og deres (middel)afstand til Solen. Den siger, at  $P^2/M^3$  er den samme for alle planeter (hvor  $P$  er varigheden af en fuld cyklus, og  $M$  er længden af ellipsens hovedakse).

en eksperimentel forståelse af bevægelse. Kepler havde modificeret det kopernikanske system, så det blev simpelt og beskriveligt med få matematiske love. Men det store spørgsmålet lød på, om de jordiske kræfter, som f.eks. opererede, når kugler trillede ned ad skråplaner, var de samme kræfter, der var gældende i solsystemet? Gjaldt lovene for bevægelse på Jorden også for planeternes bevægelser – og dermed for bevægelse overalt?

Engang i 1680'ernes begyndelse spurgte en af Newtons venner ham om, hvordan sammenhængen mellem Keplers love og kraften mellem Sol og planeter var. Newton svarede, at hvis kraften var omvendt proportional med kvadratet på afstanden, ville planeterne bevæge sig i ellipser omkring Solen. Vennen bad om at få en redegørelse. Det blev til Newtons hovedværk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ("Naturfilosofiens matematiske principper"). I dette værk fremlægger Newton en samlet fremstilling af de lovmæssigheder, der gælder for bevægelse, og viser, at disse kan forklare, hvordan solsystemet er bygget op. Dermed viser han også, at det er de samme principper, der gælder for bevægelse på Jorden og i universet som helhed. Når man ser Solens og Månen op- og nedgange, og når man kaster en sten eller sparker til en bold, er det således de samme kræfter, der er på spil. Descartes havde allerede tidligere hævdet, at naturen var én natur, indeholdt i et uendeligt rum og med de samme lovmæssigheder gældende overalt. Ved et tankeeksperiment viste Newton f.eks., at hvis man kaster en sten ud fra en bjergtop, er det teoretisk set muligt at kaste den så hurtigt, at den vil blive til en lille måne, sådan som det sker med satellitter.

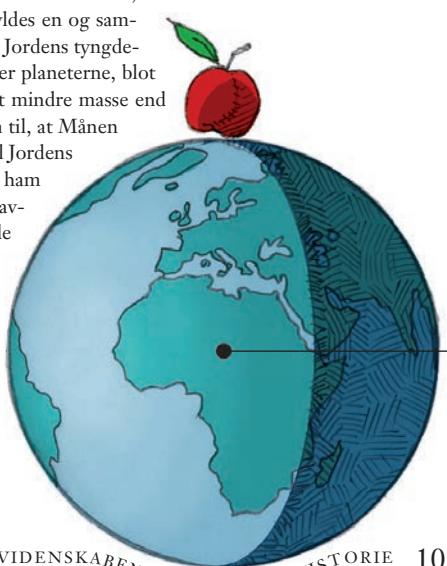
Månen holdes i sin bane omkring Jorden af samme kræfter og efter samme lovmæssigheder som en sten, der falder til Jorden. Newton kunne, ud fra tre simple love for bevægelse samt en tese om, at der mellem

alle legemer var en tiltrækning – tyngdekraften – der afhæng alene af massen af legemerne og deres afstand, forklare stort set alle kendte bevægelsesfænomener. Han

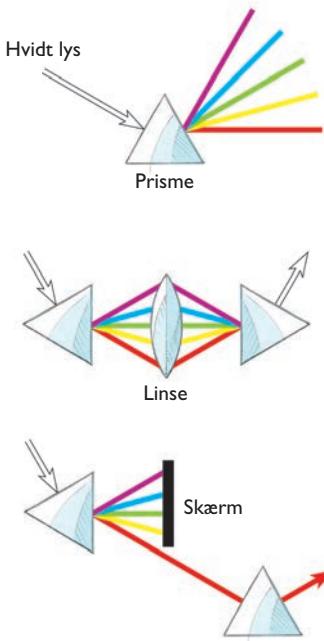


kunne vise, at under de givne forudsætninger måtte planeter og kometer bevæge sig i ellipser. Han kunne forklare tidevandet og en lang række andre el-lers ret uforståelige fænomener. Han gav disse forklaringer ud fra en matematisk analyse og syntese, dvs. han fremlagde løsninger på problemer i en form, hvor man ud fra en række antagelser demonstrerede løsningen mate-matisk. Han gav sig ikke af med overvejelser af mere naturfilosofisk art, dvs. overvejelser over, *hvorfor* tingene var, som de var. Han ville udelukkende re-degøre for de observerede fænomener på basis af en række simple lovmæssig-heder og definitioner. Det var den klassiske euklidiske metode.

Med sine værker etablerede Newton en norm for, hvad viden og viden-skab var. Det var i høj grad ham, der viste, at det var muligt igennem ekspe-rimenter at løse en lang række problemer, herunder også at frembringe nye instrumenter og redskaber på basis af denne viden. Newton konstruerede således en ny slags kikkert baseret ikke kun på linser, men også på et forstør-rende spejl. Det var også muligt at fremlægge fysiske og astronomiske teorier i matematisk form – hos Newton endnu geometrisk – på en måde, så man ud fra definitioner og fundamentale love og aksiomer kunne aflede såkaldte teoremer, der beskrev det observerede. Med Newtons begreber kunne man



Newton kom ifølge en (givetvis usand) anekdote frem til sin banebrydende ide, mens han lå under et æble-træ og så et æble falde mod Jorden. Kunne det være sådan, tænkte han, at Solen trækker i Jorden, og Jorden trækker i Månen, på samme måde som Jorden trækker i æblet? Kunne det være, at alle disse tiltrækninger og hele solsystemsutsformingen skyldes en og samme type kraft? Hvis hypotesen var sand, ville man forvente, at Jordens tyngde-kraft ville følge den samme regel, efter hvilken Solen trækker planeterne, blot med en anden styrke, der var proportional med Jordens langt mindre masse end Solens. Ved at bruge Keplers 3. lov kunne Newton finde frem til, at Månen måtte have en acceleration, der var kvadratet på dens afstand til Jordens centrum mindre end accelerationen af det faldende æble foran ham (dvs.  $60^2$  gange mindre). Tyngdekraften på Jordens overflade havde man målt til at være  $9,8 \text{ m/s}^2$ , og Hipparkos havde allerede 2000 år tidligere beregnet, at Månenens afstand til Jorden måtte være ca. 60 gange Jordens radius, og derfor burde Månenens acceleration omkring Jorden være ca.  $60^2 = 3600$  gange min-dre end æblets  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Da Månenens acceleration nemt kan beregnes på en anden måde, nemlig via Newtons egen 2. lov om at  $a=v^2/r$ , og resultatet rigtig nok er 3600 gange mindre end  $9,8 \text{ m/s}^2$ , folte Newton sig sikker på at have forstået årsa-gen til den mystiske kraft, som holder måner og planeter fast i deres baner omkring Solen.



I 1704 fremlagde Newton yderligere et meget væsentligt værk, hans *Optik*. I dette værk studerede han først og fremmest lyset. Han fremsatte en teori om, at lys var en partikelbevægelse, og at hvidt lys – sollys og dagslys – var sammensat af lys med forskellige farver, som vi ser det i spektret. Opfattelsen af lyset som en partikelstrøm var en dristig hypotese – andre hævdede, at lyset var et bølgefænomen – men Newton havde stærke eksperimentelle grunde til at mene, at hvidt lys var sammensat. Newton studerede selvfølgelig mange andre fænomener, og han diskuterede en lang række hypoteser om lysets natur, f.eks. også Descartes' ide om, at lys var en art trykfænomen.

Robert Boyles luftpumpe. Fra ►  
New Experiments Physico-Mechanical, 1660 · History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries.

også løse fysiske problemer på samme måde, som man siden i hvert fald Euklid havde løst geometriske problemer. Det var således ikke kun den himmelske sfære, der var matematisk, hele naturbeskrivelsen kunne være det, inklusive den, der drejede sig om jordiske fænomener.

### En mekanisk og deterministisk verdensorden

I løbet af 1600-tallet blev der etableret en høj grad af konsensus om, hvordan viden blev produceret, og hvad viden var. Det skete bestemt ikke uden diskussion og kontrovers. Afgørende var imidlertid, at der opstod en videnskabelig institution, f.eks. i form af videnskabelige selskaber, hvor en gruppe af mennesker fik magt og mulighed for at fastslå, hvad der var kendsgerninger, og hvad der ikke var. Kendsgerninger var noget, der var objektivt påviseligt, og med objektivitet mentes, at flere mennesker kunne opleve fænomenet, og at det kunne gentages under forskellige omstændigheder.

Den engelske videnskabsmand Robert Boyle (1627-91) arbejdede i mange år med luften, dens tryk og egenskaber, og med spørgsmålet om det tomme rum eksistens. Han fik konstrueret en luftpumpe, og med den kunne han frembringe et vakuum. Han kunne udforske luftens egenskaber og fremlægge en teori, der støttedes af eksperimenter.

Det videnskabelige samfund var i slutningen af 1600-tallet endegyldigt blevet den instans, der afgjorde, hvad der var viden, og hvad der ikke var. Observation og eksperiment, efterprøvning og gentagelse var afgørende kriterier. Det var ikke ved disputationer eller filosofiske analyser, at man kom frem til kendsgerningerne, men ved at lade dem “tale selv”, og det skete først og fremmest i eksperimen-

*Fig. 1.*



*Fig. 2.*



*Fig. 3.*



*Fig. 4.*



*Fig. 5.*



*Fig. 6.*



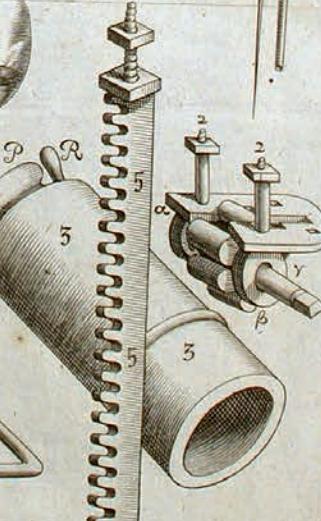
*Fig. 7.*



*Fig. 10.*



*Fig. 11.*



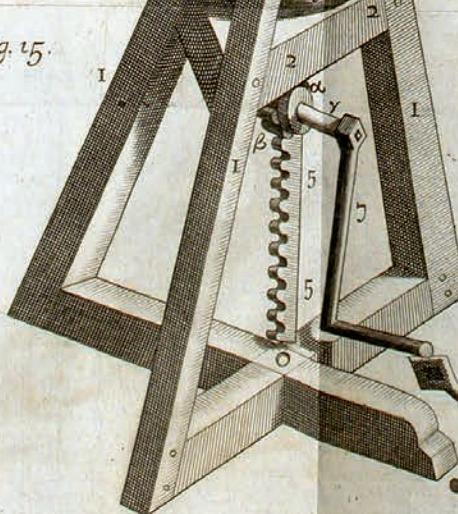
*Fig. 14.*



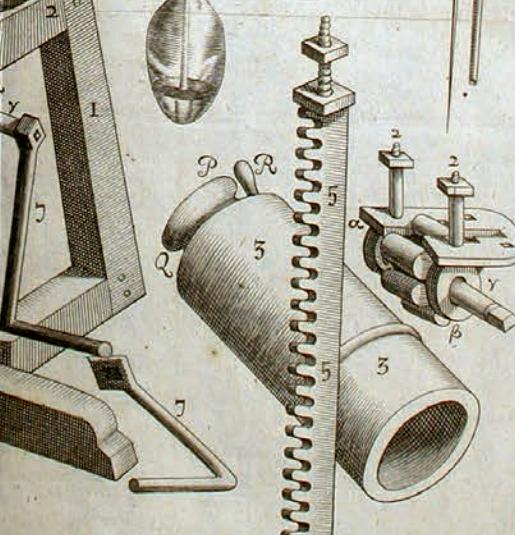
*Fig. 15.*

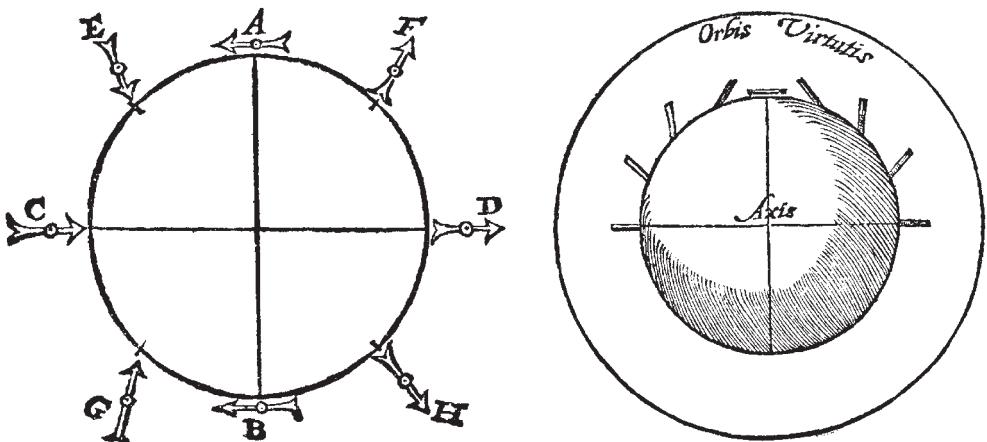
*Fig. 16.*

*Fig. 15.*



*Fig. 16.*





tet. En redegørelse for viden var således både en teoretisk præsentation, f.eks. i form af en matematisk teori, men også en redegørelse for, hvilke observationer og eksperimenter, der var blevet udført.

Der opstod med andre ord en institution baseret på en bestemt ide om, hvad viden og videnskab var. Videnskabsmændene mødtes i deres selskaber, diskuterede og gennemførte eksperimenter, og sikrede derved objektiviteten. De publicerede deres observationer og resultater i tidsskrifter, så alle i det videnskabelige samfund kunne være orienterede og havde mulighed for at efterprøve og kontrollere. Når medlemmerne var enige om udfaldet af et eksperiment eller resultatet af en observation, og om hvordan tingene passerede sammen rent teoretisk, så var der etableret ny viden.

I året 1600 havde William Gilbert som nævnt offentliggjort en bog om magneter, hvori han omhyggeligt på basis af eksperimenter fremlagde en lang række undersøgelser og resultater om magneter. Her kom han også med den hypotese, at selve Jorden var en stor magnet. Selvom han er en tidlig repræsentant for den nye videnskab, var hans forståelse af magnetismen indlejret i en magisk forståelse af naturen, en forståelse som anså naturen for hjemsted for okkulte kræfter, der kun kunne beherskes eller benyttedes igennem magi, igennem over talelse og sammensværgelse. Gilbersts model af forskeren var stadig en model, der lignede Faust.

Hvor renæssancen ofte havde opfattet naturen som en art levende organisme, så fremkom der snart en ny opfattelse, der så naturen som en kompleks mekanisme, en art maskine, der kunne minde om f.eks. et meget avanceret ur. Det betød, at naturen dybest set var død, bestod af livløse elemen-

► William Gilbert argumenterede for, at Jorden selv er en stor magnet. Bl.a. understregede han ligheden mellem de følgende to fænomener. Til venstre ses en kompasnåls hældning på forskellige breddegrader. (Bemærk, at Nordpolen befinner sig ved C.) Til højre ses ligevægtsstillingen af et lille stykke jerntråd i forhold til en rund magnet. History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries.

nuft. Om denne sjæl selv var en art maskine eller noget helt andet, kunne man så diskutere.

Et af de væsentligste elementer i den nye naturopfattelse var, at man fremsatte den tese, at de afgørende lovmæssigheder i universet var de samme overalt. Dernæst, at altting hang sammen gennem årsagssammenhænge, der forløb med nødvendighed, og hvor én begivenhed altid forårsagede en anden begivenhed, der lå senere i forløbet. Man forstod netop disse årsags-sammenhænge ud fra konstruktion og benyttelse af maskiner. Naturen som sådan havde ikke selv nogen vilje, indsigt eller beslutningsevne. Den var på ingen måde hverken levende eller handlende.

Descartes' forestilling om naturen var netop, at den var en mekanisme, der skulle forstås med mekaniske modeller. Hvilke disse skulle være, kunne man så strides om. Descartes opfattede naturen som noget, der først og fremmest var udstrakt, idet materiens centrale egenskab netop var udstrækning. Derfor kunne den beskrives geometrisk, og via analytisk geometri derfor også med ligninger. I modsætning hertil opfattede den franske forsker Pierre Gassendi (1592-1655) naturen som bestående af mindste dele – atomer – sådan som også de antikke atomister havde gjort. Boyle og senere Newton havde også en "korpuskulær" – dvs. atomar – opfattelse af naturen, der var i modstrid med Descartes'.

De var dog alle enige om, at naturen skulle forstås som et mekanisk system. Gud havde ganske vist skabt dette system, ingen tvivl om det, men efter at det var blevet skabt, kunne det så at sige klare sig selv og følge sine egne ubøjelige love. Det skyldtes først og fremmest, at al bevægelse og forandring i virkeligheden ikke var ændring. De involverede størrelser forblev totalt set uændrede; bevægelsesmængden før og efter en forandring var altid ens. Bevægelse i sig selv krævede heller ikke en årsag – andet end den oprindelige årsag. Den oprindelige årsag var Guds skabelse af verden, der havde sat en bestemt mængde bevægelse (vi ville måske i dag sige en bestemt mængde energi) ind i verden. Denne var konstant, men kunne være fordelt

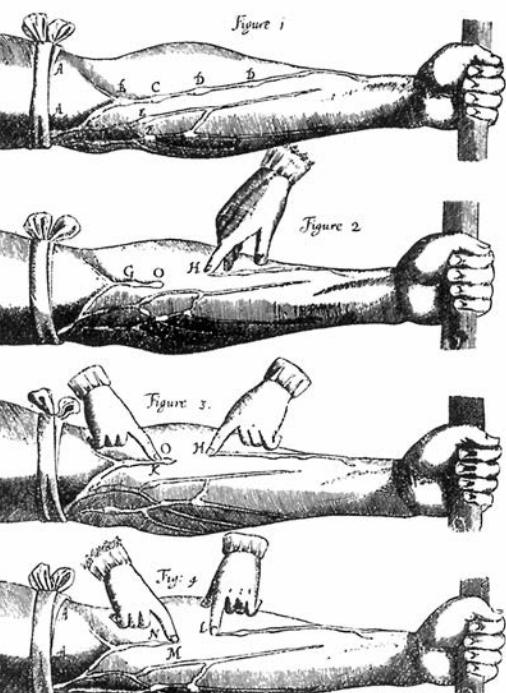
ter eller dele, der i særlige sammenhænge kunne fremvise egenskaber, som kunne opfattes som levende. Selv mennesket var en avanceret maskine, blot udstyret med et særligt element, der kunne styre maskinen – nemlig sjælen med dens vilje og for-

på et utal af forskellige måder. Det var altså ikke bevægelse som sådan, der skulle forklares og analyseres, men *forandring* i bevægelse.

Et uendeligt univers bestående af en vis mængde materie i en bestemt bevægelsestilstand underkastet nødvendige lovmæssigheder – det var, hvad der egentligt eksisterede. Derudover var der selvsagt bevidsthedens fænomener – tanker, oplevelser og følelser – men de var knyttet til noget ganske andet end materien og bevægelsen: de var psykologiske og havde at gøre med sjælen eller psyken. Renæssancens besjælede natur, hvor bevidsthed, følelse, krop og natur var i en art sammenvævet enhed, blev således erstattet af en skarp spaltning imellem den natur, som naturvidenskaben beskrev udefra, og den slags fænomener, som *oplevelsen af* og *tænkningen over* en sådan natur var. Naturvidenskabens beskrivelse af naturen var matematisk og anvendte så få ikke-matematiske begreber som muligt, f.eks. begreber som masse eller kraft, der dog var egenskaber ved genstande eller tilstænde, som kunne måles og dermed gives et matematisk udtryk. Det betød samtidig, at en lang række af de egenskaber ved naturen, som vi normalt opfatter som væsentlige,

faktisk ikke blev forstået som egenskaber ved naturen, men snarere ved vores opfattelse af den. Det gjaldt f.eks. farver og lugte, som ikke var objektive fænomener, men subjektive. Den faktisk eksisterende natur, virkeligheden som videnskabsmanden måtte beskrive den, var altså meget anderledes end den, man umiddelbart oplevede gennem sine sanser.

Denne mekaniske opfattelse af naturen fik også stor betydning for udviklingen inden for kemi og biologi. Kemiiske og biologiske processer, der netop var blevet betragtet som udslag af “naturens luner”, blev nu betragtet som



William Harveys udforskning af blodåerne i armene førte til hans opdagelse af korrelationen mellem hjertet og blodets cirkulation i kroppen. Her ses planche fra hovedværket *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus* fra 1628.

af samme art som fysiske processer. Et væsentligt eksempel herpå var f.eks. den engelske læge William Harveys (1578-1657) nye teorier om hjertet og blodets cirkulation fra 1628.

Tidlige anatomer havde haft problemer med at finde de elementer i kroppen, som burde være der, hvis Aristoteles' og Galens teorier om blodet og hjertet var korrekte. Ifølge disse var leveren det afgørende organ, og organismen fungerede ved en række transformationsprocesser mellem føde, blod og diverse former for "ånde", der flød imellem tarm, blodkar, lunger og nerver (se s. 50). Disse sagde også, at der passerede blod imellem hjertets to kamre, og at hjertets funktion var knyttet til diastolen, dvs. til hjertets udvidelse, snarere end dets sammentrækning. Man mente desuden, at blodet flød flere veje i årerne, idet der ikke var nogen klar adskillelse mellem arterier og vene.

Harvey undersøgte alle disse påstande, men kunne ikke ved empiriske undersøgelser (foretaget på halvdøde hunde) finde nogen former for bekræftelse af dem. Han fremlagde derimod en alternativ teori, der opfattede hjertet som en pumpe, hvor sammentrækningen var det centrale – hjertet var altså en muskel – og hvor blodet cirkulerede i kroppen, ud i arterierne og tilbage i veneerne. Han havde selvfølgelig problemer med at redegøre for, hvordan blodet kom fra arterier til vene – noget man senere kunne redegøre for, da man via mikroskopet kunne påvise eksistensen af hårkarrene. Men ved ret simple målinger og beregninger kunne Harvey imidlertid argumentere for, at blodet nødvendigvis måtte cirkulere: i løbet af ret kort tid pumpede hjertet nemlig mere blod ud, end hele kroppen indeholdt. Hvor skulle dette blod blive af og komme fra, hvis ikke der var cirkulation? Harvey var – ligesom magnetismens udforsker Gilbert – ikke mekanist rent filosofisk. Han troede f.eks., at blodet ikke kun var en fysisk væske, men også hjemsted for åndelige kræfter, der sikrede liv. Descartes derimod så i Harveys teori om hjertet og blodet et klart eksempel på, at man kunne redegøre for også biologiske fænomener rent mekanisk.

## Om at erkende verden – den moderne filosofi

Ved renæssancens afslutning og indledningen til den videnskabelige revolution fandtes flere grundlæggende indstillinger til erkendelse og filosofi. Der var fortsat en levedygtig aristotelisme og skolastik, der i flere sammenhæn-

ge var tæt knyttet til væsentlige samfundsinstitutioner, som f.eks. den katolske kirke. Der var også en genoplivning af den antikke skepticisme, der kunne antage relativistiske træk.

Den nye erkendelse, der var knyttet til den nye brug af matematik, eksperiment og observation, skabte også nye holdninger. En af disse understregede, at det var muligt for mennesket igennem brug af fornuften at nå til erkendelse. Matematisk ræsonneren var her modellen: når den matematiske erkendelse kunne knyttes til f.eks. fysiske fænomener, kunne en medfødt fornuft nå frem til erkendelse om virkeligheden. Galilei og Descartes hyldede dette synspunkt. Eksperimenter kunne være nødvendige for at afgøre en situation, hvor fornuften førte frem til flere mulige teorier, der var indbyrdes uforenelige. Og de kunne være nødvendige for at overbevise andre, når argumenter ikke var tilstrækkelige. Men basalt set indeholdt den menneskelige fornuft alt, hvad der var nødvendigt for at erkende verden. Der kunne observeres, tælles og eksperimenteres, og dermed skabes ny viden, ligesom der kunne skabes nye begreber og ideer. Fornuften kunne på den måde også være vidensskabende. Dog forudsatte det alt sammen de "medfødte ideer", som mennesket som fornuftsvæsen besad. Filosofi og videnskab skulle efter denne fornuftsopfattelse – rationalismen – udfolde mulighederne i disse ideer, ved anvendelse af metodiske regler opstillet i filosofien. Filosofien skulle således fungere som en art tænkningens og erkendelsens grammatik.

Samtidig indeholdt den videnskabelige aktivitet en insisteren på, at erkendelse og viden kun kunne fremkomme igennem interaktion med naturen og dens genstande. Det var erfaringen, der var afgørende – erfaring forstået som sansning, som det sker i ren observation, eller omgang med naturen, som det sker i eksperimenter. Filosoffen og lægen John Locke (1632-1704) fremlagde her et synspunkt, der fik afgørende betydning, og som i høj grad har været med til at danne vor tids forståelse af viden og erkendelse. Descartes mente, at viden fremkom ved, at man ud fra nogle generelle begreber og metoder ræsonnerede sig frem. Locke, derimod, mente snarere, at man ud fra konkrete erfaringer – f.eks. ud fra oplevelsen af omverdenen og menneskets sproglige evner – dannede sig generelle og mere abstrakte begreber og metoder. For Locke var den nye naturvidenskab ikke egentlig erkendelse. Ved observation og eksperiment kunne man få nye overbevisninger og meninger, ligesom man kunne finde løsninger på praktiske problemer. Men

selvom Locke anerkendte, at alle naturvidenskabens begreber var dannet ud fra erfaring, bestod *egentlig* erkendelse i at studere relationerne mellem disse begreber. Det var et studium, der kunne udføres alene ved fornuftens hjælp. Geometri var et eksempel på dette. Hvor aristotelikere mente, at erkendelse af naturens genstande bestod i indsigt i disses egentlige essens, så mente Locke, at en sådan indsigt var umulig. Vi kunne kun erfare noget om den af os uafhængigt eksisterende verden igennem sansning og brug af de begreber, som vi gennem sansningen har erhvervet. Men det ville aldrig give os en uafhængig, direkte indsigt i tingene. Al erkendelse og erfaring, sikker eller mindre sikker, måtte formidles via begreber og i en social situation gennem sproget.

Locke var, hvad man kalder empirist, men lagde stadig utrolig megen vægt på fornuftens evne til at ræsonnere, når der skulle frembringes erkendelse. Han var også bevidst om fornuftens begrænsninger, og som sådan en art skeptiker. Lockes praktiske erfaringer fra lægeverdenen og den lægevidenskabelige forskning og hans kontakt med Boyle har tydeligvis præget ham: når man forsøger at erhverve sig viden og opstille teorier ud fra direkte omgang med naturen, ved brug af instrumenter og redskaber, så tænker og ræsonnerer man helt anderledes end teoretikeren og matematikeren. Det betyder ikke, at man ikke bruger fornuften, men dens brug er knyttet til ens konkrete erfaringer og handlinger. For rationalisten, derimod, er sådanne erfaringer ikke i sig selv nogen kilde til erkendelse og viden, men fungerer alene som en art ”dommer” i situationer, hvor man er tvunget til at vælge mellem alternative teorier og forklaringer.

For den skolastisk og aristotelisk skolede filosof var verden indrettet med fastlagte kasser og kategorier, og al erkendelse modsvarede disse. Erkendelse var indsigt i tingenes essentielle træk og nødvendige egenskaber. Som sådan var virkeligheden logisk, og da erkendelsen foregik med menneskets fornuft, der også var logisk, var der ingen problemer i forholdet mellem det objektivt eksisterende og den subjektive oplevelse. I det hele taget ville en aristoteliker givetvis slet ikke kunne forstå en sådan distinktion. Der var selvlhart forskel på et bjergude i verden og det, der foregik af følelser eller tanker inde i ens hoved – men det var ikke en fuldstændig eller total forskel. Følelser, tanker, måner og bjerge havde alle form og materie og en essens, der kunne erkendes.

Med fremvæksten af den ny videnskabstype ændrede dette sig fuld-

stændigt. Det var dog en lang og sej kamp, da de gamle verdensforståelser stadig dominerede overalt. I lang tid skulle den nye videnskab ikke alene kunne fremlægge resultater og begrunde sig selv filosofisk, den skulle også kunne indpasses i en verdensforståelse, hvor kristendommen var en given og nødvendig forudsætning. Der måtte være plads til en Gud, til Skabelsen og til Treenigheden. Mange filosoffer forsøgte at fremlægge en sammenhængende forståelse af verden, hvor der var mulighed for en matematisk og eksperimentel naturvidenskab og en kristen verdensforståelse på samme tid. Det kunne medføre, at man måtte ændre gudsbegrebet, som f.eks. filosoffen Baruch Spinoza (1632-77) gjorde, eller direkte betivle Treenighedslærén, som f.eks. Newton gjorde.

Et afgørende træk ved alle disse forsøg var, at det enkelte individ og dets muligheder for at opnå erkendelse kom i centrum. Sammenslutninger af på-lidelige individer kunne etablere erkendelse, men det skete altid igennem deres individuelle rapporter om, hvad de oplevede eller så. Hvis naturen var en død mekanisme, og mennesket var levende og erkendende, var der en næsten total forskel mellem menneskets erkendelse og det, der blev erkendt. Derudover kom, at hvis menneskets erkendelse dybest set var knyttet til begreber i dets bevidsthed, opstod spørgsmålet om, hvordan disse begreber forholdt sig til det, de var begreber om. Man havde jo oplevet, at hvis man ændrede sine begreber, muliggjorde det nye erkendelser og nye problemløsninger. Det betød, at man ikke på forhånd kunne antage, at der var en simpel sammenhæng mellem verdens indretning og bevidsthedens begreber. Hvis man skal have sikker viden, så er det eneste sikre det, man selv oplever. Men inden for det mekaniske verdensbillede er hovedparten af det, man oplever, subjektivt.

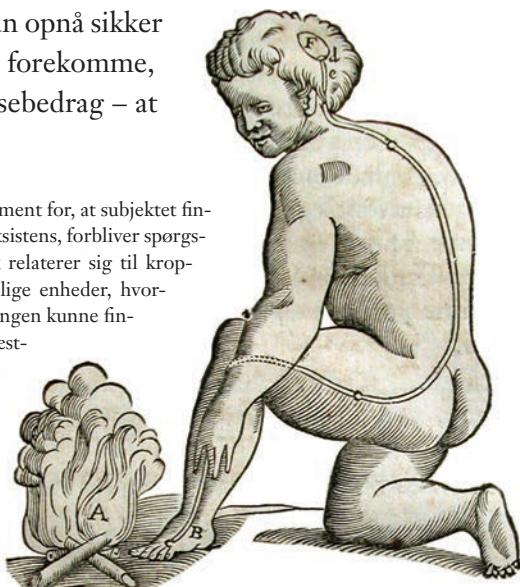
Både Descartes og Locke var enige om, at bevidstheden erkender via begreber – kaldet “ideer” – som både kan være abstrakte og mere direkte være sanseoplevelser. Relationen mellem disse ideer og det, som de er ideer om, bliver et afgørende problem. Descartes og flere andre filosoffer ser her en afgørende rolle – en ny filosofisk baseret rolle – for Gud, nemlig at være garant for denne relation. Gud er med andre ord den instans, der hele tiden garanterer, at f.eks. vores oplevelse af verden ikke er en illusion, men at vores sansning rent faktisk giver os et retvisende billede af verden.

Descartes’ måske vigtigste filosofiske bedrift var hans løsning på problemet om, hvad man i grunden kan være sikker på. Den kom han frem til ved

at undersøge, hvad det egentlig vil sige at tvivle eller være usikker på noget. Hvis man er tvivlende eller usikker, så kan man ikke samtidig være tvivlende eller usikker på, *om* man tvivler eller er usikker. Antag, at jeg tvivler på *alting*. Det må jo også betyde, at jeg tvivler på, om jeg tvivler på alting. Men det forekommer umuligt, for den tvivl kunne jo kun være begrundet, hvis jeg var sikker – for at tvivle på at jeg tvivler, ville jo betyde, at jeg var sikker. Men det er jo netop det, jeg tvivler på. Det går altså ikke. Jeg kan tvivle på meget, men ikke på alting, i hvert fald ikke på selve det faktum, *at* jeg tvivler. Derfra slutter Descartes så videre, at tvivl er en art tænkning, og at der derfor tænkes, hvis der tvivles. Men hvis der tænkes, så må der være noget eller nogen, der tænker. Dette noget eller nogen er for Descartes det tænkende subjekt. Subjektets eksistens, min egen eksistens, er altså sikker, hvis jeg starter med at tvivle. Og de klare, entydige og distinkte begreber, som subjektet besidder i sin bevidsthed, er også ubetvivlelige.

Det for Descartes vigtigste af disse er begrebet om et fuldkomment væsen, om fuldkommenheden. Noget kan være dårligt eller mindre dårligt, ergo må noget kunne være godt, og hvis noget er godt, må der også være noget, der er bedst – mener Descartes. Det begreb, vi har om en fuldkomment eksisterende entitet, må nødvendigvis også eksistere. For et begreb om noget fuldkomment, der ikke eksisterer, er en modsigelse. Dette fuldkomne er Gud. Men hvis Gud er fuldkommen, er Gud også algod, og som sådan kan Gud ikke være ansvarlig for at have skabt et væsen som mennesket, der ikke kan opnå sikker erkendelse. Sansebedrag kan altså forekomme, men muligheden af, at alting er sansebedrag – at

Selv hvis man accepterer Descartes' teologiske argument for, at subjektet findes, og at man kan have tiltro til den ydre verdens eksistens, forbliver spørgsmålet åbent om, hvordan vores bevidsthed faktisk relaterer sig til kroppen og hjernen. Hvis hjerne og ånd er to forskellige enheder, hvordan kommunikerer de så? Descartes mente, at løsningen kunne findes i koglekirtlen, som er en lille kirtel, der er fastnet til bagsiden af den tredje hjernevæntriket. Det er dette "tredje øje", som laver den kausale forbindelse mellem bevidstheden og kroppen. Descartes viser her, hvordan sansepåvirkninger bliver ført hen til koglekirtlen (F), der virker på bevidstheden, og som kan give instruktioner tilbage til kroppen. History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries.



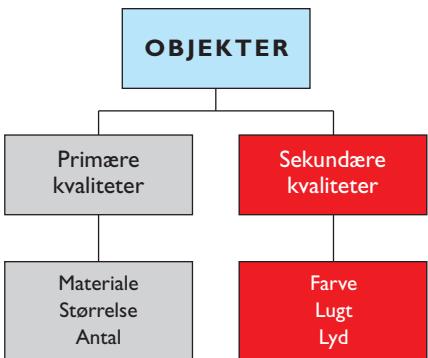
vi som mennesker lever under én stor illusion – det er ikke muligt. Dét garanterer Guds eksistens.

Locke søgte at redegøre for muligheden for troværdig erfaring på en anden måde, der helt enkelt baserede sig på, at menneskets sanseoplevelser forårsages af de ting, der sanses. Hvis der findes genstande, som eksisterer uafhængigt af os og vores erkendelse af dem, så påvirker de vores sanseapparat, og derved fremkommer oplevelsen af dem. Da Locke mente, at denne påvirkning var lovmæssig, var det muligt at få information om det, der påvirker os, ud fra erkendelse af påvirkningens resultat, dvs. vores oplevelse. Locke mente, at man derfor måtte inddøle objekter i deres primære og sekundære egenskaber. Primære egenskaber er de ting, som objekter har uafhængigt af, hvordan mennesket sanser dem, f.eks. deres materielle beskaffenhed, deres form og antal. Sekundæregenskaberne er nogle yderligere – subjektive – oplevelser, som man får ved at observere dem, f.eks. deres farve, lugt og lyd.

Fremkomsten af den nye naturvidenskab betød overordnet set, at filosofien måtte koncentrere sig om spørgsmål knyttet til erkendelsens væsen og mulighed, snarere end om at fremlægge teorier om, hvordan verden er indrettet. Descartes var stadig både naturforsker, naturfilosof og erkendelses-teoretiker. Men allerede med Locke ser man, at det overlades til empirisk orienterede forskere at fremlægge teorier om verdens indretning. Filosofen må så i stedet overveje, hvordan man kan have viden, og hvad det vil sige. Dermed var filosofien blevet forvandlet fra at være en gennemgribende metafysik, der kunne redegøre for verdens og tilværelsens indretning, til at være en disciplin, hvor erkendelsesteori var central. Det skabte en række af de “klassiske” filosofiske problemer om forholdet mellem den subjektive erkendelse og den “ydre” verdens eksistens,

problemet om forholdet mellem sjæl og krop, og om hvordan vi overhovedet kan vide, at andre legemer, kroppe, også har subjektive – private – oplevelser.

Derudover skabtes også en “rivalisering” mellem erkendelsesformer, idet de naturvidenskabelige teorier og hypoteser skulle passes ind i forhold til andre, ikke strengt videnskabelige diskussions- og



erkendelsesområder. Descartes havde dette problem meget tæt på i forhold til kristendommen. Men også filosofiske synspunkter kunne komme i konflikt med naturvidenskabens erkendelser. F.eks. var der stærke argumenter for, at det tomme rum ikke kunne findes, selvom eksperimenter tydeligt viste det modsatte. Hvem skulle afgøre sådanne stridigheder om ikke filosofferne? På den anden side fik naturvidenskaben efterhånden autoritet og evne til at skabe konsensus, og derfor også krav på at være den eneste disciplin, der for alvor kunne levere viden. Ved 1600-tallets slutning var der ikke længere mulighed for at antage en art enhedsviden. Kunstnere, teologer, filosoffer og naturvidenskabsmænd lavede forskellige ting, på hver deres måde og ofte i helt forskellige institutionelle sammenhænge.

## Formler for det uendelige og det tilfældige

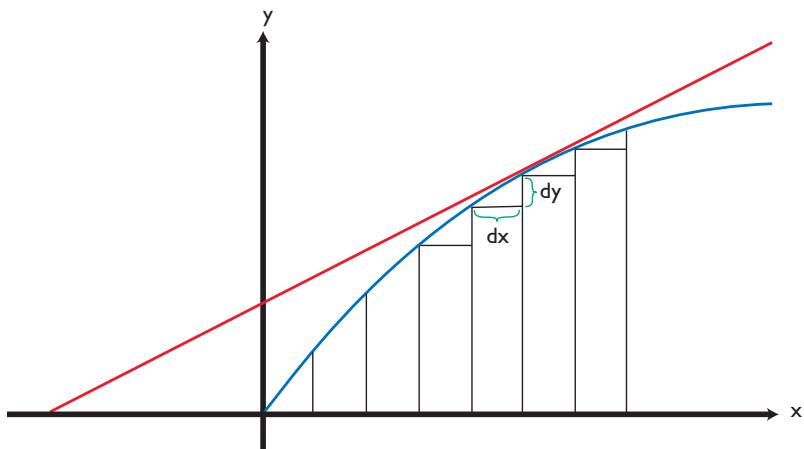
Den videnskabelige revolution baserede sig i høj grad på nye instrumenter og redskaber: kikkert, mikroskop, termometer og barometer. Men der udvikledes også nye abstrakte teknikker – f.eks. Descartes' arbejde med at omsætte geometrisk viden til aritmetisk, altså talbaseret, viden. Men der var flere væsentlige fysiske fænomener, man havde svært ved at give tal. Det krævede udvikling af nye former for matematik, nye måder at regne på, og resulterede i det, man kalder "analysen" – nemlig differential- og integral-regning. De to afgørende skabere af denne var Newton og Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). De gik til problemet på hver deres måde: den ene mest som fysiker, den anden som matematiker.

Differential- og integralregningen var nødvendig for at håndtere væsentlige fysiske problemstillinger knyttet til f.eks. bevægelse. Det var simpelt at måle den tid, det tog at bevæge sig en bestemt distance, og med jævn bevægelse – dvs. uden acceleration- at angive hastigheden. Men al interessant bevægelse har med acceleration at gøre. Acceleration betyder, at hastigheden skifter over tid. Problemets var så, om man kunne danne et begreb om hastighed knyttet til et bestemt tidspunkt? Et argument imod dette er, at hvis et tidspunkt netop er et punkt, så har det ingen udstrækning, og der er således ingen afstand, noget bevæger sig på, eller noget tidsrum, bevægelsen sker i. Hvis man bevæger sig 144 km på to timer med jævn bevægelse, så er hastigheden hele tiden 72 km/t. Men hvad er den på et givet tidspunkt? Og så 72 km/t? Men på nul sekunder bevæger man sig vel nul meter, så her skul-

le hastigheden være  $\frac{0}{0}$  m/s – eller hvad? Newton udviklede en række begreber til at håndtere den slags problemer, ligesom han udviklede en måde at regne med sådanne størrelser på. Fordi disse fænomener var knyttet til bevægelse og forandring, altså til noget, der på sin vis er flydende, kaldte Newton sin opdagelse for “fluxioner”.

Samtidig med Newton arbejdede Leibniz med en helt anden slags problemer knyttet til studier af talrækker. Han udviklede også en række begreber knyttet til de fænomener, som Newton havde studeret, nemlig forandringer, der kunne beskrives som kurver i et cartesiansk koordinatsystem. Begge betragtede fænomenerne som knyttet til en art regning med uendeligt små størrelser, såkaldte infinitesimaler, og de udviklede begge en forståelse af, hvad man i dag kalder differentiering og integrering, eksemplificeret ved forholdet mellem et legemes bevægelse og dets hastighed. De indså også disse operationers indbyrdes forhold, at den ene var det omvendte af den anden, ligesom de begge udviklede metoder til at analysere sådanne fænomener, f.eks. deres maksima og minima, altså hvornår hastigheden var størst eller mindst. Og endelig udviklede de begge notationer baseret på deres begreber, hvorfaf man i dag hovedsageligt benytter Leibniz'. Men vigtigst af alt: ved hjælp af disse nye begreber kunne de løse problemer, som hidtil havde været uløselige. Det var en udvikling af nye matematiske begreber og metoder, som ikke var set siden middelalderens indførelse af decimaltal. Pludselig blev en række komplekse fænomener beskrivelige og analyserbare

Her ses en moderne forklaring af Leibniz' infinitesimalregning. Princippet er, at forholdet  $dy/dx$  svarer til tangenthældningen, når  $dy$  og  $dx$  går mod 0, dvs. vælges "uendeligt små".



med matematiske begreber, og de kunne gøres håndterlige med tal. Måling blev derved endnu mere væsentligt, og endnu mere kunne beregnes.

Samtidig var disse nye begreber og operationer ikke meningsfulde set med strengt logiske øjne. Flere filosoffer kritiserede således metoderne som meningsløse, bl.a. fordi de typisk involverede, at man måtte give mening til at dividere med 0 – men ikke desto mindre virkede de. I de følgende par hundrede år arbejdede man med at forstå og redegøre for denne situation. Det krævede forståelse af helt fundamentale egenskaber ved matematisk erkendelse og de matematiske grundbegreber – f.eks. hvad tal egentlig er, hvad en kontinuerlig bevægelse rent matematisk er osv. – problemer, der først begyndte at få deres løsning et par hundrede år senere.

Infinitesimalregningen er ikke det eneste eksempel på, at man med helt nye begrebsdannelser kan beregne og måle nye fænomener. Et andet eksempel er sandsynlighed. I dag er ideerne om risiko, usikkerhed, tilfældighed og sandsynlighed helt indgroede. Man hører meget ofte, at dette eller hint forøger sandsynlighed for noget, eller at noget er en risikofaktor, dvs. at det ikke er en egentlig mekanisk årsag til noget, men netop forøger en sandsynlighed. Terningespil og kortspil har man kendt stort set i alle kulturer og til alle tider. Strategier og vurderinger af held eller uheld ligeså. Men som tidligere nævnt, er det først i årene omkring 1660, at man bliver i stand til at regne med sandsynligheder og dermed løse problemer knyttet til f.eks. kortspil. Hvordan skal man dele puljen i et spil, der afbrydes for tidligt? Er det et moralsk eller et matematisk problem? Kan der overhovedet gives et korrekt svar? Erfaringer med terningkast gav også problemer, og man kunne formulere spørgsmål, der vedrørte sandsynligheden for i f.eks. fire kast med en terning at få en sekser, eller hvornår odds var fifty-fifty for at få en sekser i kast med to terninger. Men man havde ikke hidtil haft mulighed for at give svar.

Det var matematikeren Blaise Pascal, der først og fremmest fandt en række løsninger på den slags problemer. Han udviklede regler for regning med sandsynligheder, og de blev videreført af Christiaan Huygens (1629-95) i en bog om, hvordan man ved beregning løste problemer knyttet til hasardspil.

Både Pascal og Huygens var klar over, at sandsynlighed var et begreb, der kunne bruges til at betegne en bestemt størrelse knyttet til udfald af tilfældige begivenheder, som f.eks. kast med terninger, og til grader af overbevisning, som f.eks. hvor meget eller fast, man skulle tro på noget. Det var en

sondring mellem statistisk sandsynlighed og grad af rationel overbevisning. Pascal brugte den sidste form for sandsynlighed til at give et argument for, at det var bedst at tro på en kristen Gud. Der er jo to muligheder: enten at der findes en kristen Gud, eller at der ikke gør. Hvis der er en Gud, og man ikke tror på ham, risikerer man evig straf, og hvis der ikke er en kristen Gud, og man alligevel tror på ham, påfører man sit liv en lille ulempe. I valget mellem de to muligheder er det meget risikabelt ikke at tro, og meget lidt omkostningskrævende at tro, men med mulighed for stor gevinst. Ergo er det mest rationelt at tro på en (straffende) kristen Gud!

Overvejelserne over sandsynlighed og tilfældighed fremkommer samtidig med fremkomsten af det mekanistiske verdenssyn, hvor alle naturlige processer bliver forstået som kausale sammenhænge. Da alle processer sker med nødvendighed, dvs. er underkastet eviggyldige lovmæssigheder, er opfattelsen af begivenhedsforløb også deterministisk – forstået på den måde, at en situation med nødvendighed fører til en anden og senere situation. Et univers, der på den måde fungerer som en maskine, er også et univers, der ikke tillader tilfældighed, og hvor principielt alt burde kunne forudsese – hvis man ellers har viden nok. Den person, der har viden, og som skal forudse eller indse noget, er derimod ikke selv del af dette mekaniske univers: Descartes havde skabt en distinktion mellem det fysiske og det psykiske,

## • Hasard og sandsynlighed

Det var en berømt korrespondance fra 1654 mellem Blaise Pascal og Pierre de Fermat (1601-65), som i første omgang startede matematikernes interesse for sandsynlighedsregning. Brevvekslingen skyldtes en hasardspiller, Antoine Gombaud (1607-84), som spurgte Pascal og Fermat, hvad man skulle gøre i følgende situation. To spillere (A og B) af samme styrke spiller et spil, hvor den, der først når seks point, vinder det hele. Hvis spillet afbrydes før tid, og det f.eks. står 4:3 – hvordan skal pengene så fordeles mellem de to spillere? Hvad er retfærdigt? Det er faktisk svært at finde den rette tilgang til en løsning,

men Pascal og Fermat kom til følgende resultat: spillet vil være slut efter maksimalt  $a+b-1$  runder. Lav en liste af alle muligheder og tæl, hvor mange gange A vinder, og hvor mange gange B vinder. I ovenstående eksempel er  $a = 2$  og  $B = 3$ , og der er derfor  $2^{(2+3-1)} = 2^4 = 16$  muligheder. Ud af dem får A de nødvendige to sejre eller flere 11 gange, mens B får de nødvendige tre sejre eller mere 5 gange. Derfor skal A have  $\frac{11}{16}$  og B  $\frac{5}{16}$  af pengene. Opskriften til Pascals og Fermats løsning kan i moderne notation skrives som:

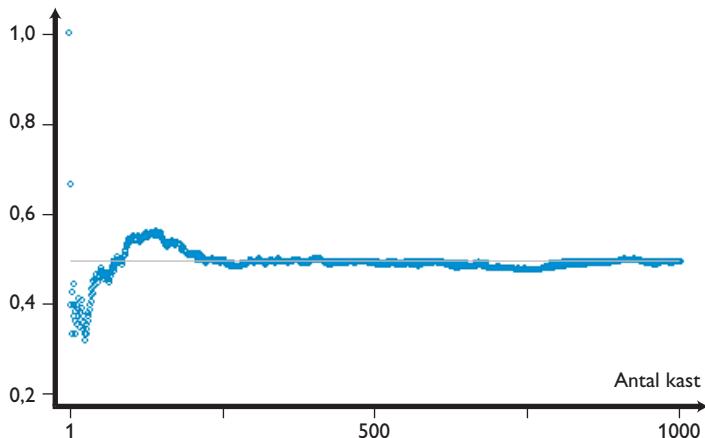
$$\sum_{i=0}^{b-1} (a + b - 1 - i) \frac{1}{2^{a+b-1}}$$



mellem det legemlige og det sjælelige, for at muliggøre en tænkende og erkendende bevidsthed, der var fri, og som kunne tænke over og erkende fænomener i den materielle verden.

Sandsynlighed og tilfældighed forekommer at være i direkte modstrid med forestillingen om kausal nødvendighed og determinisme. Tidligere matematikere, som f.eks. italieneren Cardano, havde opfattet sandsynlighed som udtryk for lykke eller held, dvs. for naturens uregnelighed. I et mekanisk verdensbillede bliver sandsynlighed derimod knyttet til den tænkende eller erkendende, som et udtryk for manglende viden. Derfor troede man også, at man, hvis man var tilpas alvidende, ville kunne forudsige ethvert udfald. Den daglige forskning var dog mere jordnær. Ved at gennemføre et eksperiment med flere mulige udfald mange gange kunne man finde de til de enkelte udfald knyttede sandsynligheder, som var lovmaessigt fastlagte. Ved at kaste terninger igen og igen kunne man altså fastslå, med en stigende nøjagtighed, hvad sandsynligheden for forskellige udfald egentlig var.

Det er velkendt, at sandsynlighedsregningens oprindelse kan findes i hasardspil. Selvom folk var klar over, at hverdagen indeholdt mange uforudsigelige elementer, tilbød kort- og terningespil en matematisk tilgang til at tænke over sandsynligheder, fordi de består af en tællig og dermed begrænset mængde af udfald. Geronimo Cardano, der var gambler og en udstødt eksistens, var den første, som nedskrev sandsynlighedsteoretiske beregninger i bogen *Liber de ludo aleae* ("Bogen om Spil og Held") fra 1560'erne, lang tid før Blaise Pascals og Pierre de Fermats berømte korrespondance fra 1654. Her ses *Falskspillerne* af Valentin de Boulogne fra 1620. Dresden Gemäldegallerie.



I 1700-tallet beskrev Jakob Bernoulli "de store tals lov", som siger, at udfaldet af en lang række møntkast ligger tæt på den forventede værdi. På grafen ses resultatet af 1000 møntkast. Hvis plad får værdien 0 og krone værdien 1, vil gennemsnittet konvergere mod 0,5.

Matematikeren Jakob Bernoulli (1654-1705) formulerede den indsigt i et værk om sandsynlighedsregning, *Ars Conjectandi* fra 1713, som "de store tals lov", dvs. antagelsen om, at der ved mange gentagelser eller ved store mængder af fænomener kunne fremkomme en art "statistisk lovmæssighed", der var ligeså determineret som mere simple fysiske processer.

At der bag ved komplekse og tilsyneladende tilfældige og mangfoldige fænomener kunne være lovmæssigheder, og at disse kunne beskrives matematisk – det var en meget afgørende ide for den videre udvikling af naturvidenskaben, der bl.a. førte til udviklingen af statistikken. To helt nye fænomenområder var altså blevet gjort tilgængelige for videnskabelig behandling på ganske kort tid i årene fra 1660 til 1700: bevægelse og tilfældighed.

I begyndelsen af 1600-tallet havde engländeren Francis Bacon talt for, at man burde udvikle en videnskab – en natur-filosofi, som han kaldte det – baseret på viden om fænomenernes årsager. Det ville muliggøre, at mennesket kunne gribe ind i begivenheder og derfor kontrollere dem. Videnskaben skulle altså finde årsager og årsagssammenhænge og dernæst bruge denne viden til at frembringe eller forhindre visse tilstande og fænomener. Således ville viden kunne gøres nyttig og ikke bare give indsigt. Bacon opdelte viden i to typer: teoretisk, der omhandlede viden om naturens lovmæssigheder, og praktisk, der handlede om, hvordan man kunne bruge teoretisk viden til at frembringe ønskede tilstande og fænomener. Det er en ganske anden forståelse af, hvad der menes med "praktisk" end Aristoteles' og aristotelismens, hvor det praktiske var det, der havde med samfundet, moral og politik at gøre, og derfor meget nærmere til det, man i dag mener med "praktisk".

Ved slutningen af 1600-tallet var man begyndt at realisere nogle af Bacons visioner. Man havde f.eks. opnået indsigt i nogle fundamentale sammenhænge inden for fysikken, og man havde relevante matematiske teorier og metoder til rådighed. Galilei havde ikke kun studeret et legemes frie fald, men også materialers styrke. Det muliggjorde mere avancerede beregninger af bygningers og bygningselementers dimensionering. Man kunne måle og beregne på legemer i bevægelse – f.eks. projektiler. Artilleriet kunne derved benytte matematisk-fysiske metoder til at effektivisere krigen, hvilket også fik indflydelse på konstruktionen af befæstningsanlæg.

Man havde således udviklet nye måle- og observationsinstrumenter, nye beregningsmetoder og nye fysiske teorier, der alle muliggjorde løsninger på flere og flere praktiske problemer. Man kunne kort sagt udvikle en videnskabeligt baseret teknologi. Det var noget ganske nyt.



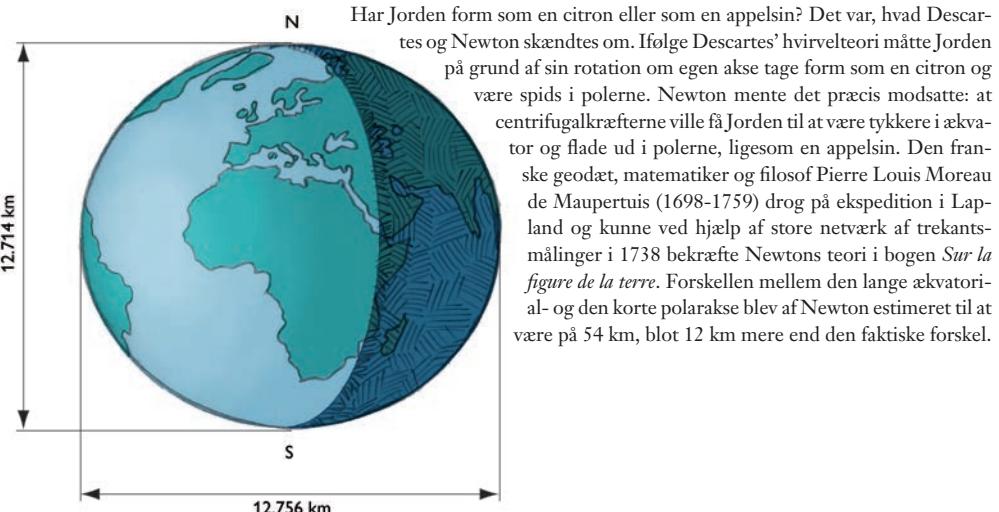
# 4 Samfundsinstitutionen bygges op

I 1751 udkom første bind af Den Store Franske Encyklopædi. Filosoffen og forfatteren Denis Diderot (1713-84) og matematikeren Jean le Rond d'Alembert (1717-83) var redaktører. D'Alembert skrev et langt, programmatisk forord til værket, hvor han fremlagde sit syn på mennesket, samfundet og erkendelsen, som for ham først og fremmest ville sige videnskaben. D'Alembert tilsluttede sig John Lockes (1632-1704) empiristiske opfattelser, som endog blev lidt radikaliserede, og han skrev uden på nogen måde at antage, at det var nødvendigt at redegøre for erkendelse og videnskab ud fra Gud eller andre overnaturlige forhold. Mennesket er, efter d'Alemberts mening, et naturligt væsen, der lever i en naturlig verden, og som organiserer sig i naturlige samfund. Der er i verden intet mystisk, magisk eller mirakuløst. Diderot og flere andre af de intellektuelle knyttet til hans kreds – ofte kaldet oplysningsfilosofferne – var næsten alle radikale materialister, dvs. de mente, at der ikke i verden fandtes andet end materielle genstande, og at hele universet var en art stor maskine. D'Alembert var mere raffineret, idet han var klar over, at menneskets evne til erkendelse var knyttet til sansning, og at sansning involverede noget subjektivt, der ikke bare kunne elimineres igennem en tro på, at verden i sin helhed var en maskine. Immanuel Kant (1724-1804) skulle få år senere gennemtænke denne problematik.

D'Alembert var ikke først og fremmest filosof, han var matematiker og teoretisk fysiker. Erkendelsesteoretisk

var han tilhænger af John Locke og empirismen, men videnskabeligt var han mere knyttet til Isaac Newton (1642-1727). I årene omkring 1750 blev New-

Illustration fra Voltaires popularisering af Isaac Newtons naturvidenskab: *Eléments de la philosophie de Newton* (1738). Den viser forfatterens elskerinde og samarbejdspartner, Mme du Châtelet, holde et spejl, der reflekterer sandhedens lys fra Newton ned på den inspirerede Voltaire. Det Kongelige Bibliotek.



tons fysik videreudviklet af en lang række videnskabsmænd, og den fik en mere præcis udformning, der kulminerede i den franske matematiker Joseph Louis Lagranges (1736-1813) fremstilling i 1788. Men ikke nok med at den teoretisk blev bragt i den form, vi kender i dag – den blev også testet og anvendt på en række fænomener, som hidtil havde været uforskrlig. Det var dog stadig sådan, at René Descartes' (1596-1650) naturopfattelse havde mange tilhængere. Det gav anledning til forskellige kontroverser, bl.a. om Jordens form. Man mente, at Descartes' og Newtons teorier måtte have forskellige Jordformer som konsekvens, og der blev derfor sendt ekspeditioner til det nordligste Europa og til Sydamerika for at foretage nøjagtige målinger.

I perioden fra 1750 til 1780 etableredes således Newtons fysik som det bedste eksempel på en eksakt naturvidenskab, et ideal for alle andre viden-skaber. D'Alembert selv arbejdede med mange forskellige fysiske og astronomiske fænomener, bl.a. den bevægelse, som Jordens akse foretager. Han viste, at denne var en logisk følge af Newtons grundlæggende fysiske antagelser. De nye fænomener, man opdagede og ønskede forståelse af, dukkede frem pga. de mere og mere nøjagtige instrumenter og flere og flere målemuligheder, der blev skabt. Som vi senere skal se, førte dette også til overvejelser over måling og dermed over usikkerhed, overvejelser som fysikeren og matematikeren Pierre Simon Laplace (1749-1827) især gjorde sig.

Begejstringen for Locke og Newton blev i høj grad skabt af forfatteren François de Voltaire (1694-1778). Han opholdt sig nogle år forud for 1730

i eksil i England. I 1733-34 offentliggjorde han en række filosofiske breve, i hvilke han fremlagde blandt andet Lockes og Newtons filosofi og videnskab i en alment forståelig form. Disse *Lettres philosophiques* fik enorm indflydelse, og var som “medie-begivenhed” af afgørende betydning. De var et væsentligt skridt i etableringen af en diskuterende og kritisk offentlighed i løbet af 1700-tallet. Voltaire var først og fremmest i opposition til den etablerede kirke, som han anså for at være en formørkelsens og fordummelsens institution og instrument. Det var disse meninger, der bragte ham i fængsel og eksil. Under eksilet lærte han de engelske ideer om tolerance, frihed og parlamentsstyre at kende, og han stiftede bekendtskab med den opfattelse af erkendelse og videnskab, som Locke og Newton stod for. Voltaire fik kædet anti-kirkelige, anti-autoritære, demokratiske og moralske opfattelser sammen med bestemte erkendelses- og videnskabsteoretiske opfattelser. Lockes empirisme passede ham, fordi den gav grundlag for at angribe forestillinger om, at erkendelsen kom fra eller allerede var indgivet i menneskene af Gud. Han formidlede Newtons fysik som et billede af en naturlig verden, der adlød faste og sikre love. Det muliggjorde forudsigelse og kontrol.

Samtidig havde han stor begejstring for den Gud, som Newton selv antog, og hvis enhed han mente, det var vigtig at erkende – i modsætning til den etablerede kirke og kristendoms forestilling om en treenighed. Voltaire angreb også Blaise Pascal (1623-62), der jo havde “konverteret” fra fysiker og matematiker til forsvarer af den kristne tro. Newton havde, mente Voltaire, klart demonstreret den sublime intelligens, der lå bag eller i universet, og dermed Guds eksistens. I 1738 publicerede Voltaire en introduktion til, hvad han kaldte Newtons filosofi, hvori han lagde vægt på at vise Newton som en person, der kun accepterede, hvad der kunne vises empirisk eller eksperimentelt.

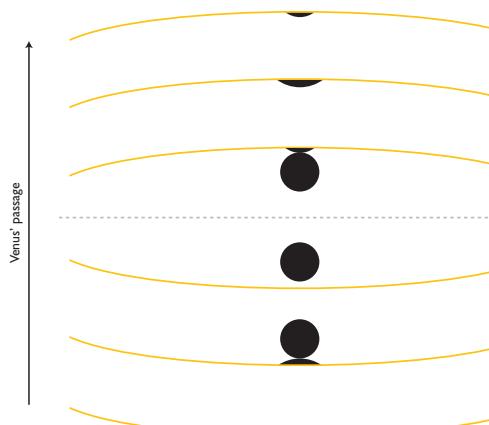
Voltaire var i den forstand anti-metafysiker og ønskede ikke at erstatte menneskets erkendelsesmæssige begrænsning og omfattende uvidenhed med metafysiske postulater. Derfor var hverken Pascal, Descartes eller Leibniz (1646-1716) hans helte. Man kan sige, at han i sin empiristiske begejstring bevarede en del skepticisme. Da en række af oplysningsfilosofferne ændrede Lockes empirisme til en gennemgribende materialisme, og i øvrigt også kobleden denne til en gennemgribende optimisme, ja så var han voldsomt imod. I slutningen af hans filosofiske roman *Micromegas* fra 1752 siger en af hovedpersonerne: “Må Gud, hvis der er en sådan, frelse min sjæl, hvis

jeg har en sådan.” Voltaire tvivlede på sjælens eksistens og mente, at virkeligheden måtte bestå af dels en Gud og dels den materielle verden, hvor dyr og mennesker levede, ikke som besjælede væsener, men som bevidste. Bevidstheden var ikke struktureret af medfødte ideer, men mennesket havde visse basale instinkter, der udfoldede sig og i samspil med omverdenen var med til at forme mennesket.

## Mécanique Analytique

I 1758-59 genkom Halleys komet. Edmond Halley (1656-1742) var en vigtig newtonianer, der allerede på Newtons tid havde beskæftiget sig med himmelfænomener. Han opdagede den komet, der er opkaldt efter ham, og fremsatte den hypotese, at denne komet havde vist sig flere gange, og derfor måtte bevæge sig i en elliptisk bane i solsystemet. Han fremlagde også forslag til, hvordan man mere nøjagtigt kunne bestemme solsystemets størrelsesforhold, først og fremmest afstanden fra Jorden til Solen. I 1761 kunne man i forbindelse med Venus’ passage forbi Solen beregne denne afstand – og fik den for datiden gode værdi 153 millioner km.

Halleys komets genkomst skulle kunne forudsiges og beskrives præcist ud fra Newtons love, hvis den opførte sig som et normalt himmellegeme, der havde en elliptisk bane i solsystemet. Flere fysikere, der kæmpede intenst for newtonsk fysik, fremkom med forudsigelser, der passede i en sådan grad, at det blev udlagt som overvældende sejre for den newtoniske videnskab. Det fik en foreløbig kulmination i 1788, da Lagrange fremlagde Newtons



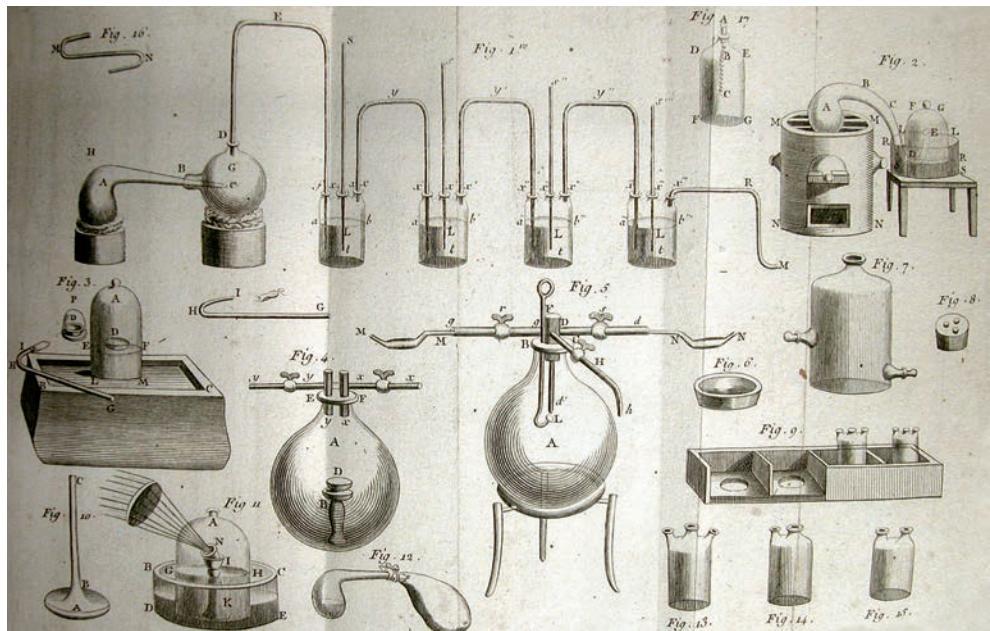
På trods af et stort antal af observationer slog forsøgene på at måle den eksakte afstand til Solen ved hjælp at Venus’ passage hen over Solen fejl. Blandt årsagerne var den såkaldte “sort-dråbe effekt”, som man kan se på denne tegning fra James Cooks (1728-79) ekspedition til Tahiti i 1769. Den sorte dråbe gør, at Venus ser ud til at sidde fast på randen af Solen. Der dannes en lille bro mellem de to sfærer, hvilket med datidens instrumenter skabte en fejlmargin i beregningen af parallaksen (s. 103) på op til 40 sekunder i aflæsningen af tidspunktet for kontakt. I mange år troede man, at årsagen til den sorte dråbe var en atmosfære på Venus, men i virkeligheden skyldes effekten en optisk diffraktion pga. Jordens atmosfære.

teorier helt uden anvendelse af geometriske begreber. Fysikken blev analytisk, dvs. formuleret i rent algebraiske termer. Derfor kaldte Lagrange også sit værk *Mécanique Analytique*. Der var i virkeligheden tale om en avanceret anvendelse af den infinitesimalregning, som Leibniz og Descartes havde skabt, men uden at acceptere Leibniz' eller Descartes' metafysiske overbevisninger. Det var Descartes og Leibniz som videnskabsmænd, der blev koblet sammen med Newton og Locke som kosmologer og erkendelsesteoretikere.

Man sondrer ofte mellem to faser i udviklingen af den mekaniske fysik. Den første startede med Galileo Galilei (1564-1642) og endte med Newtons arbejder i 1680'erne, mens den anden starter med d'Alemberts forsøg med en ny matematisk formulering af Newtons fysik fra 1743 og ender med Lagranges og Laplaces arbejder omkring tiden for Den Franske Revolution. I løbet af anden halvdel af 1700-tallet etableres dermed den matematisk formulerede mekaniske fysik som en selvstændig videnskab. Den er nu helt formulert i et algebraisk matematisk sprog, der på ingen måde ligner de fænomener, der beskrives. Fysikken er etableret som en universel videnskab, der beskæftiger sig med de egenskaber, som naturen har i sin fulde almenhed.

Samtidig sker der også en etablering af kemien som selvstændig viden-skab. Det er først og fremmest igennem teoridannelser, der muliggør, at den kan blive kvantitativ, dvs. at man kan måle på de kemiske reaktioner. At to stoffer reagerer med hinanden, og at der kommer noget nyt ud af det, er en almindelig erfaring. Men hvordan de talmæssige forhold i en sådan reaktion er, det er straks sværere at svare på. En række kemikere, måske først og fremmest franskmanden Antoine Laurent de Lavoisier (1743-94), begynder at udføre kemiske eksperimenter, hvori der vejes og måles. Det var muligt, fordi målemulighederne i løbet af 1700-tallet var forbedret utroligt. Man frembragte måleskalaer og forbedrede instrumenterne og deres nøjagtighed, og det resulterede bl.a. i teorier om, at de kemiske stoffer var sammensat af såkaldte grundstoffer. Man begyndte også kvantitativt at studere fysiske fænomener som varme, magnetisme og elektricitet, der ikke umiddelbart lod sig forstå mekanisk.

I slutningen af 1700-tallet har man således mulighed for at formulere et mekanisk og deterministisk verdensbillede. Verden er et stort mekanisk system styret af få – muligvis kun én – lovmæssighed, og det er beskriveligt og forudsigeligt med matematiske midler, forstået som ligninger. Disse lig-



De store fremskridt inden for kemien opstod især ved hjælp af nye målungsapparater. Her ses en planche fra Lavoisiers *Traité Élémentaire de Chimie* · History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries.

ninger er differentialligninger. Ud fra et antal observationer af verdens tilstand på et givet tidspunkt – dvs. man har målt værdierne af en lang række parametre – er det muligt at løse ligningssystemet og dermed forudsige verdens tilstand på et vilkårligt senere tidspunkt. Sådan beskriver Laplace i 1796 solsystemet, og denne beskrivelse er for ham og hans samtidige en beskrivelse af selve verdenssystemet.

For mange af oplysningsfilosofferne var verden i sin helhed en stor maskine. Det gjaldt bl.a. Paul Holbach (1723-89) og Julien de La Mettrie (1709-51). Laplace var klar over, at hvis verden var totalt determineret, ville man kunne forudsige dens gang, og teoretisk set med 100 procents sikkerhed og nøjagtighed. Men enhver måling involverer i praksis usikkerhed. Dette skyldes, at måling og observation er psykologiske processer, der er subjektive. Problemet er så, om fysikeren som observatør også er en del af virkelighedens maskine. For Descartes var der tale om, at virkeligheden bestod af tre slags elementer: Gud, subjektet og naturen. Erkendelsen fremkom i et samspil mellem disse. Mange tænkere i midten af 1700-tallet arbejdede stadig med ideer om, at tænkning og sansning i virkeligheden var en art Guds indgriben i verden, fordi bevidsthed og tænkning ikke kunne opstå i en rent mekanisk verden. Så mennesket som krop, som mekanisk organisme,

kunne ikke i sig selv være ansvarlig for tænkning og erkendelse. Gud måtte have en rolle. I løbet af 1700-tallet blev det dog mere og mere almindeligt at formulere problemet uden brug af Gud. Sansning og erkendelse var naturlige processer. Men spørgsmålet om, hvordan det var muligt for mennesket som tænkende væsen at erkende en mekanisk verden, stod stadig åbent.

Hen imod slutningen af 1700-tallet var der etableret en generel opfattelse af, at hvis mennesket skulle have viden om sig selv og sin omverden, skulle det ske igennem videnskaben. Videnskaben var en organiseret aktivitet, der baserede sig på observation og måling. Den udførte eksperimenter, der sikrede, at dens påstande om, hvordan verden var indrettet, ikke var vilkårlige, men objektive. Og observationer, i form af målinger og eksperimenter, skulle være gentagelige, således at resultaterne ikke var udtryk for personlige præferencer eller kulturelle fordomme.

Inden for en række felter havde videnskaben også leveret store resultater, der ikke blot gav interessante billeder af, hvordan verden var indrettet, men også muliggjorde løsning af væsentlige praktiske problemer. Forståelsen af videnskaben som teoretisk aktivitet var også ændret. Man stræbte ikke mod en beskrivelse af verden i dens enorme mangfoldighed og kompleksitet, men ville derimod anlægge et bestemt perspektiv, se grundlæggende strukturer og foretage abstraktioner. Hver videnskab havde sin egen autonomi. Hvor man i 1600-tallet havde set fysik og kemi som stort set samme typer af videnskab, kaldet naturfilosofi, så var man nu klar over, at der var stor forskel på de to. At etablere forskellige slags autonome videnskaber, hvor hver enkelt dækker hele universet på hver sin måde, er et væsentligt skridt i retning af en videnskabelig verdensopfattelse.

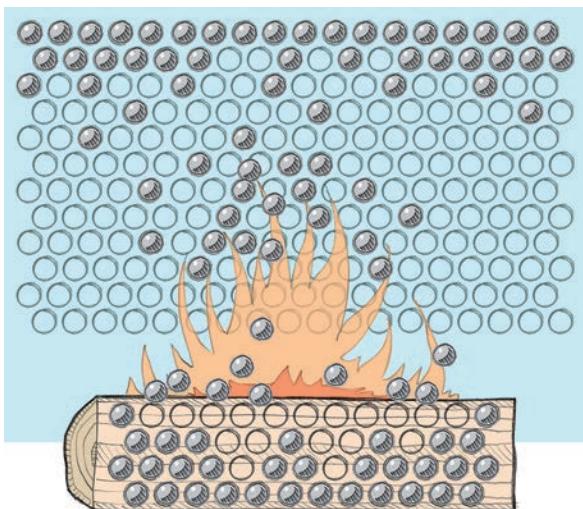
Videnskaben var ikke længere et forsøg på én sammenhængende verdensbeskrivelse, en art total metafysik, men en række forsøg på at anlægge et bestemt abstrakt perspektiv. Fysikken beskrev den fysiske verden, kemi- en den kemiske osv. Ved hjælp af grundbegreber kunne man fokusere på ganske bestemte træk ved virkeligheden, der dermed under et bestemt abstrakt synspunkt kunne gøres til genstand for utroligt præcise beskrivelser. Videnskaben bidrog dermed til at skabe indtrykket af forskellige verdener – den kemiske, den økonomiske osv. Men samtidig hang disse videnskaber sammen, og sammenhængen var netop den videnskabelige *metode*. Denne lærtes først og fremmest fra den mekaniske fysik og studiet af solsystemet. Det er således karakteristisk, at da filosoffen og økonomen Adam Smith (1723-90) skulle

undervise i videnskabelig metode, gjorde han det ud fra en lærebog i astronomiens historie, som han selv skrev.

Tegningen, der er udført af fysikeren ogingenøren John Smeaton i 1771, viser et tværsnit af en vandmølle med overfaldshjul, som han konstruerede i Waltham Abbey, Essex · Royal Society.

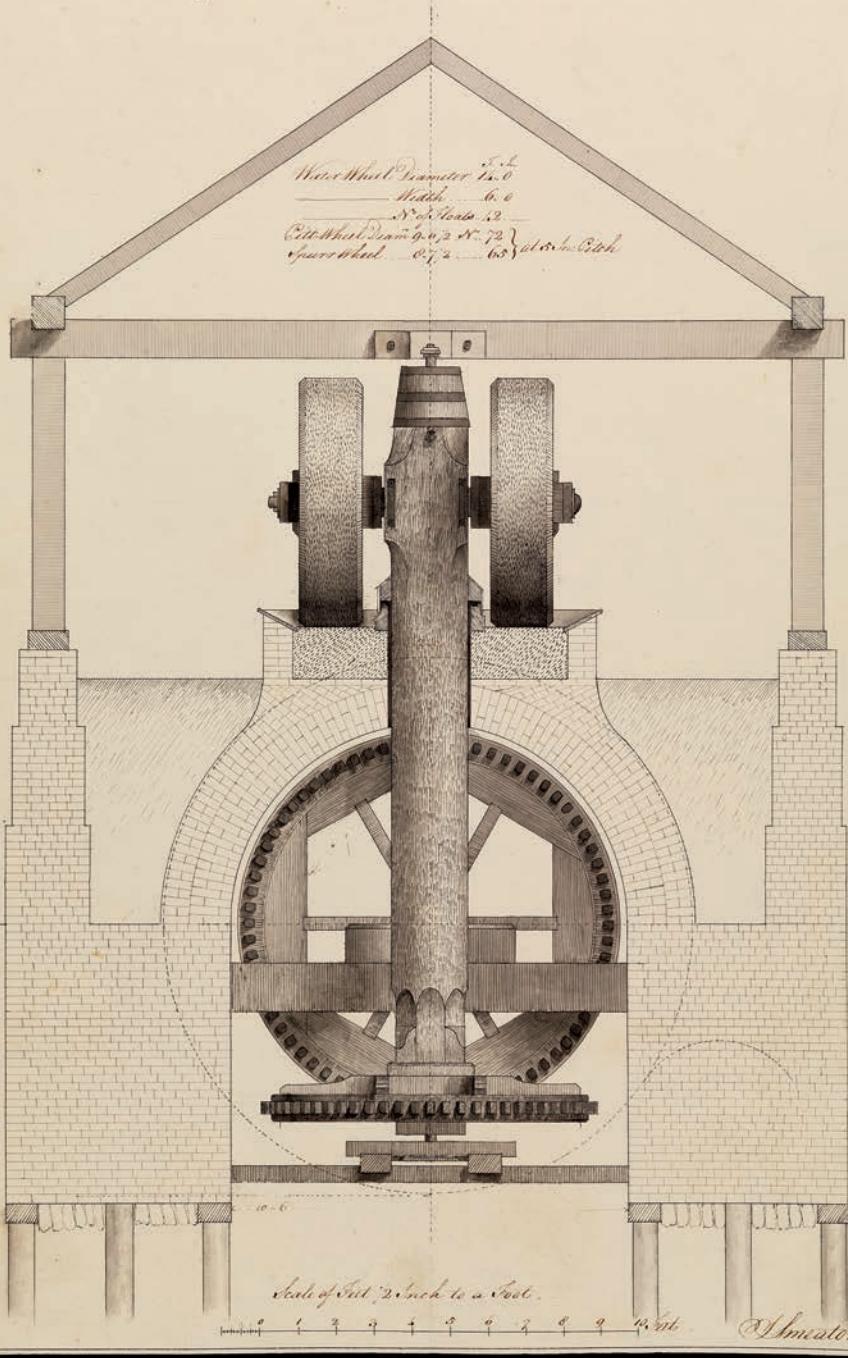
I slutningen af 1700-tallet er der således etableret en grundopfattelse af, hvad videnskab er, hvad videnskab bygger på, og af hvilken videnskab, der er den mest udviklede. Observation, måling og eksperiment er grundlaget, og kun herigennem kan man sikre, at videnskabelige teorier har relation til virkeligheden og ikke bare er spekulative. Senere i 1800-tallet er der videnskabsmænd, der næsten identificerer videnskab med måling. Et godt eksempel på målingens betydning er diskussionen i kemien om forbrænding. I 1700-tallets begyndelse mente mange kemikere, at forbrænding var en proces, hvor et særligt stof – "phlogiston" – udskiltes. Et metal bestod f.eks. af et stof B samt phlogiston. Når stoffet iltedes, f.eks. rustede, så blev der afgivet phlogiston, og stoffet B var tilbage. Når man så igen påvirkede B ved at opvarme det med f.eks. trækul – et meget brændbart stof, hvilket betød, at det indeholdt meget phlogiston – så overførtes der phlogiston til B, og det blev igen til metal.

I dag ville man sige, at B ikke var et grundstof, men netop en forbindelse med metal og ilt, men dengang kendte kemikerne ikke til sådanne begreber. Hvis man kalder metallet B+P og det af-phlogistonerede stof for B, så skulle man jo antage, at B+P ville veje mere end B alene. Det viste sig dog ikke at være tilfældet, når man vejede alt med. Konklusionen blev, at enten var phlogiston et mærkeligt stof med negativ masse, eller også var teorien gal.



Ifølge phlogiston-teorien er forbrænding en proces, hvor stoffet "phlogiston" friges. Når træ, metal eller stearin brænder, friger de deres indhold af phlogiston til omgivelserne. Når f.eks. træ brændes, forsvinder phlogistonen (her repræsenteret ved solvkuglerne), og tilbage bliver den phlogistonløse aske. Derudover har luften en begrænset kapacitet for, hvor meget phlogiston, den kan indeholde, og det skulle så være grunden til, at stearinlys går ud i en lukket beholder. Der var masser af problemer med teorien, bl.a. at mange metaller blev tungere efter forbrænding, hvilket jo ikke hang sammen med, at de burde frigive stof. Problemets forsøgte man bl.a. at løse ved at foreslå, at phlogiston besad negativ masse. Under alle omstændigheder var denne teori trods alt bedre end ingen teori overhovedet.

*Upright for W. Walton's POWDER MILL at Waltham Abbey.*



Måling tvang altså kemikerne til at overveje situationen, og da ideen om stof med negativ masse var yderst uplausibel, måtte man revidere phlogiston-teorien. Lavoisier var den første, der fremførte den alternative teori, at metal ikke bestod af to stoffer, men var et grundstof, der reagerede med et stof i luften – han kaldte det oxygen – og at trækul, som var brændbart, ikke var brændbart, fordi det indeholdt meget phlogiston, men at det reagerede med luftens ilt.

Oplysningsfilosofferne og tidens videnskabsmænd var vældigt optagne af det praktiske. De havde godt nok mange teoretiske anskuelser, men observation, måling og eksperiment i sig selv egnede sig også til at løse praktiske problemer. Selvom man ikke havde god teoretisk forståelse af et felt, kunne man anstille forsøg. Et kendt eksempel er den engelske fysiker og ingeniør John Smeatons (1724-92) forsøg med vandhjul. Han foretog dem for at finde ud af, om overfaldshjul eller underfaldshjul var de bedste. Han mente på baggrund af omfattende målinger, at overfaldshjul var bedst. Han havde ingen teori om energi, så der var alene tale om rent a-teoretiske empiriske forsøg.

## Hume og Kant

Den skotske filosof David Hume (1711-76) fremlagde i årene omkring 1750 en teori om den menneskelige erkendelse, som var mere radikal end Lockes og de fleste af de franske oplysningsfilosoffers. Hvor de helt klart mente, at der fandtes en materiel verden, som påvirkede vore sanser og dermed gav anledning til erkendelse, var Hume mere skeptisk. Ifølge ham var det eneste, man med sikkerhed kunne vide, at der var en sammenhæng mellem sanseindtryk og begreber – altså at erkendelse var et resultat af noget, der havde med sanserne at gøre. Om der rent faktisk var noget, der påvirkede sanserne, var umuligt at bevise, idet det ville kræve, at vi kunne percipere sammenhængen imellem dette noget og sanseindtrykket. Men selv dét ville jo blot være et sanseindtryk osv. Når jeg således ser en rød postkasse, så siger Hume, at jeg alene kan være sikker på, at jeg har et rødt postkasseagtigt indtryk. Derefter antager jeg, at der er en rød postkasse, som er årsag til dette indtryk – selve ordet “indtryk” siger jo, at der må være noget, der trykker, og noget der trykkes – men jeg kan ikke være sikker på, at der faktisk er en sådan rød postkasse.

Kom ikke her med dit "hændelser,  
der følges ad, er ikke altid  
kausalt forbundne!" Det er dit!



Hume kritiserer selve årsagsbegrebet, som vi jo bruger, når vi slutter fra indtryk (effekten) til det materielle objekt (årsagen). Vi antager nemlig, at sammenhængen mellem årsag og virkning er en *nødvendig* sammenhæng. Men reel er der intet i vores erfaring, der viser os denne nødvendighed. Erfaringen viser kun, at fænomener forekommer sammen, men vi kan ikke deraf slutte, at det altid vil forholde sig sådan. For Hume er store dele af erkendelsen således ikke grundet på nødvendige principper, men derimod på træk ved den menneskelige natur, f.eks. at vi tillægger sammenhænge nødvendighed, selvom den faktisk ikke er der. Når vi tilpas mange gange har observeret en sammenhæng, så opfatter vi denne sammenhæng som en lovmæssighed. Den materielle verden, årsagssammenhænge, det enkelte menneskes jeg – alle disse centrale begreber i vores normale dagligdagsopfattelse af verden og os selv – udsatte Hume for en skeptisk kritik. Men hans kritik ramte ikke kun en række af vore mest centrale dagligdagsbegreber, den ramte også en bestemt forståelse af naturvidenskaben – nemlig forestillingen om, at denne gav sikker viden om nødvendige kausale forhold i den materielle verden, og at den eksisterede uafhængigt af videnskabsmanden.

Hvis Hume havde ret i sin opfattelse af erkendelsen, så var der problemer med forståelsen af videnskaben – store problemer. Det interessante er imidlertid, at Hume faktisk havde Newtons fysik som sit erkendelsesideal, idet han ville skabe en lige så stringent teori om mennesket, dets natur, dets moral og dets erkendelse. Som Newton afledte naturens mange fænomener fra et lille antal simple og klare love, så ville Hume aflede en teori om mennesket fra få simple love, der var ubetvivleligt sande. Problemet var bare, at når man gjorde dette, måtte man tvivle på principielt alt. Ikke i Descartes' forstand, men ud fra et princip om, at hvad der ikke forelå som resultat af sansning, det var tvivlsomt, og så blev der meget lidt sikker viden tilbage. For Hume accepterede bestemt ikke Descartes' argumenter for hverken selvet som et eksisterende jeg, for Gud som det nødvendigvis eksisterende

eller for Gud som garant for erkendelsens objektivitet. Hverken selvet eller Gud kunne for Hume foreligge som resultat af sansning.

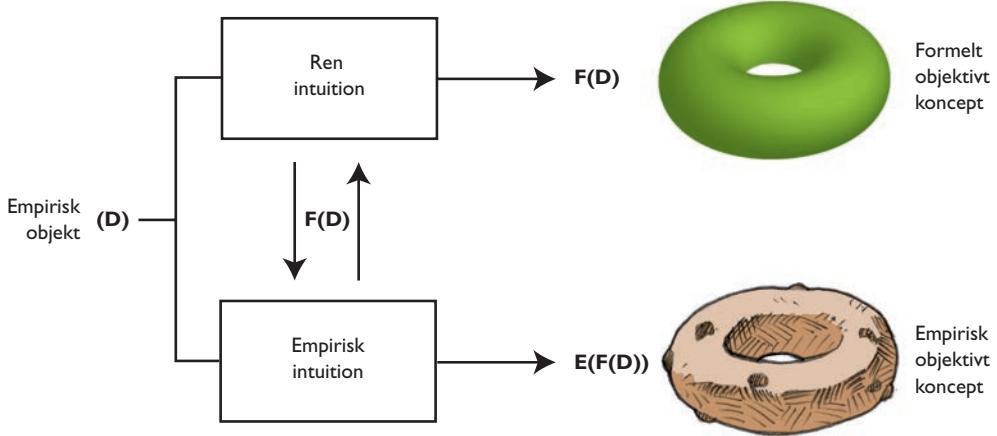
Humes skeptiske erkendelsesteori fik den tyske filosof Immanuel Kant til at vågne af, hvad han selv kalder “sin dogmatiske slummer”. Der måtte gives et svar, der støttede naturvidenskaben som en objektiv erkendelse – og ikke bare erkendelse med rod i menneskets psykologi. Kant foretog en nyfortolkning af, hvordan naturvidenskaben i form af en matematisk og mekanisk fysik er mulig. Hume havde for så vidt ret i, at den kun er mulig baseret på menneskets subjektive egenskaber. Men disse er ikke blot ogbart empirisk konstaterbare. De har karakter af nødvendige betingelser. Verden består således af en lang række erfaringer, som et subjekt har. For det første må der altså være tale om et subjekt, der har disse erfaringer. Subjektet er ikke selv noget, der kan være en erfaring af, men det er derimod en betingelse for erfaring. Erfaringerne har derudover bestemte egenskaber – dvs. subjektet må nødvendigvis erføre verden i en bestemt form. Den må fremtræde i rum og tid, og den må fremstå som struktureret på en bestemt måde, først og fremmest som struktureret via kausale sammenhænge.

Hvis vi borttænker tingene og tænker os det tomme rum, så kan vi ikke yderligere borttænke rummet, for så er erfaring af ting overhovedet ikke mulig længere. Begivenheder må udfolde sig i tid, og begivenheder må hænge sammen, og denne sammenhæng er netop den kausale sammenhæng. Hvis begivenheder fulgte hinanden vilkårligt, ville erfaring være umulig, hævder Kant. Visse ting sker i en bestemt rækkefølge som en sammenhæng, mens andre sker tilfældigt og uden sammenhæng. Denne distinktion er nødvendig for, at vi overhovedet kan have erfaring. Og den er jo også åbenlyst en forudsætning for, at vi overhovedet kan lære noget. Kant foretager hermed, hvad han selv kalder en “kopernikansk vending” ved at lokalisere muligheden for naturvidenskaben i subjektets natur og situation. Man kan dog sige, at der nok snarere er tale om en “omvending” af den kopernikanske vending, idet Kopernikus jo flyttede verdens centrum fra det sted, hvor mennesket har til huse, Jorden, og til Solen, mens Kant flytter verdens natur fra en materiel objektiv verden til subjektet. Men hvis naturen i den form, hvori vi kan erkende den, har sine egenskaber fra subjektet, hvor er så subjektet? Hvis det er forudsætning for tid og rum, er det måske ikke selv i tid og rum?

Med Kant kommer et problem til kulmination, der har været til stede hele tiden siden fremkomsten af mekanisk naturvidenskab. Descartes

accepterer, at naturen som objekt for naturvidenskab kun er en del af virkeligheden, men i slutningen af 1700-tallet bliver dét mere og mere problematisk. For Kant er det klart, at mennesket først og fremmest er et både moralsk handlende og et erkendende væsen. Som erkendende oplever det sig som deltager – qua sin naturlige krop – i en verden af nødvendighed. Men som handlende, moralsk handlende, er mennesket et frihedens væsen. Selve samspillet og sammenhængen mellem subjektet som udgangspunkt for moralsk handlen og som udgangspunkt for naturvidenskabelig erkendelse forbliver et problem for Kant. For ham kan både kunsten og selve opfattelsen af naturen som et formålsbestemt system være formidlere. Oven over det hele svæver en art subjektiv fornuft, der kan manifestere sig på flere måder. Én af dem er den videnskabelige erkendelse, hvor der gælder visse begrænsninger i udfoldelse af fornuften: den bliver begrænset til at være ”forstand”. Dette gælder alle former for fornuft: når den skal udfolde sig, sker det under visse begrænsninger og i visse former. At undersøge og bestemme disse begrænsninger og former er filosofiens opgave – det kalder Kant for kritik. Videnskab, moral, politik, kunst, religion har så hver deres måde at fungere som fornuft på. Der gives dog – ifølge Kant – ikke noget overordnet sæt af regler, sådan som Descartes troede, der gjorde, der kan bestemme fornuften som sådan. Den er altid kun fornuft i samspil med et materiale. Kunstens, moralens, videnskabens og religionens verden er på en vis måde altid den samme verden, nemlig den verden, som vi lever, handler og erkender i. Men samtidig er det også helt forskellige verdener. Kunsten er følelsernes, moralen er pligtens og frihedens, videnskabens er nødvendighedens og lovmaessighedens.

Kant opdelte videnskaben i to dele. Den første var den videnskab, der alene havde med selve tænkningens betingelser at gøre – det var logikken, og den havde intet konkret indhold. Den anden var al anden videnskab, dvs. den videnskab, der var afhængig af træk ved vores erfaring. Denne del var så ydermere opdelt, idet der var tale om forskellige træk ved vores erfaring. Aritmetik havde sit udspring i erfaring med tiden, geometri med rummet, fysik med omgang med materielle genstande, sådan som disse måtte foreligge i vores erfaring osv. Kant forsøgte sågar direkte at aflede Newtons mekanik ud fra en analyse af betingelser for erfaring med fysiske genstande. Biologi havde at gøre med erfaring om organismer. Men der var ikke nogen samlende videnskab, selvom Kant i sine seneste år var vældigt inspireret af



Kant opdelte intuationen i to typer. Den ene er den rene intuition, som uafhængigt af fysiske objekter kan skabe en formel forståelse af et koncept, f.eks. en torus. Forudsætningen for, at det kan lade sig gøre, er, at rum og tid er *a priori* repræsenteret i vores bevidsthed, dvs. umiddelbart og uden forurening fra erfaringer. Den anden er den konkrete sansning af f.eks. en donut med rosiner. Men da den konkrete sansning forudsætter den rene intuition, kan vi mennesker kun lave fornuftsslutninger om konkrete ting i en syntese af formelle og empiriske koncepter.

kemiens udvikling imod en eksakt viden-skab, sådan som Lavoisier bidrog til.

Det er imidlertid vigtigt at være opmærksom på, at Kants opfattelse af erkendelsen hele tiden havde basis i det, han kaldte *intuition*. Intuition var for Kant anskuelige forestillinger knyttet til vores erfaring, sådan som vi subjektivt oplever den. For Kant var det stadig den geometriske konstruktion, der var kernen i videnskabsforståelsen. D'Alembert,

Lagrange og mange andre matematikere og fysikere, der formulerede rene algebraiske teorier, opfattede i stedet løsning af ligninger som kernen i den videnskabelige tænkning. Denne løsrivelse af de centrale videnskabelige begreber fra den umiddelbare intuition og anskuelighed – fra geometrien – bliver afgørende for videnskabens senere udvikling i løbet af 1800-tallet.

I oplysningstænkningen sammenkobles ofte naturvidenskab, etik og politik. Den oplyste naturforsker er fordomsfri, åben og baserer sin moral og sine politiske standpunkter på forestillinger om fornuftige løsninger til alles bedste. Livet for den enkelte og i samfundet skal modelleres efter de samme principper, som gælder for naturen. Det har været kaldt "scientisme", fordi man ville bruge naturvidenskabens teorier som udgangspunkt for teorier om, hvordan samfundet burde indrettes, og hvordan man skulle formulere principper for den rette livsførelse.

Den videnskabelige metode – observation, eksperiment, måling – forsøgtes således også anvendt på områder, hvor man ikke kan antage et ab-

straktionsniveau som i mekanikken. Det betyder, at man begyndte at grundlægge visse af de praktiske færdigheder på systematiske iagttagelser og målinger. Man gjorde viden nyttig og realiserede gamle drømme fra den naturvidenskabelige revolutions barndom. I forening med den teknologiske udvikling og udformningen af et nyt industrielt produktionssystem muliggjorde det en stor forfinelse i instrumenter og maskiner. Den begyndende industrialisering i 1700-tallets slutning var ikke særlig tæt knyttet til den teoretiske videnskab, men flere af oplysningstidens egne helte var både praktiske forskere, teknologer, moralister og politikere. Mest kendt er måske amerikaneren Benjamin Franklin (1706-90). Det blev et tema for 1800-tallet at sammenkoble den teoretiske og praktiske videnskab tættere og tættere, at få videnskab og teknologi til at gå hånd i hånd, ja næsten smelte sammen.

## Revolution!

I 1789 starter Den Franske Revolution. I England starter lidt senere den industrielle revolution. I Amerika oprettes en republik baseret på oplysningstidens politiske idealer. Hurtigt efter erobrer Napoleon Bonaparte (1769-1821) store dele af Europa, og en helt ny europæisk situation udvikler sig. Samtidig sker der en række afgørende videnskabelige og tekniske nyskabelser. Englænderen John Dalton (1766-1844) formulerer en kemisk atomteori, der forsøger at redegøre for en række nyobserverde fænomener. Han antager, at al materie består af atomer, den være sig fast, flydende eller luftformig, og at materien derudover består af en række forskellige grundstoffer, der kan reagere kemisk med hinanden. Hvert grundstof består af atomer af en bestemt slags. Den eneste afgørende forskel imellem dem er deres vægt. Det lykkes at bestemme grundstoffernes indbyrdes vægtforhold, og i begyndelsen af 1800-tallet at gøre sig begrundede forestillinger om, hvor mange atomer der f.eks. er i et givet rumfang af en luftart. Udviklingen af den fysiske og kemiske atomteori er sat i gang. Det sker i øvrigt på baggrund af en interessant diskussion om, hvad kemiske sammenhænge egentlig er.

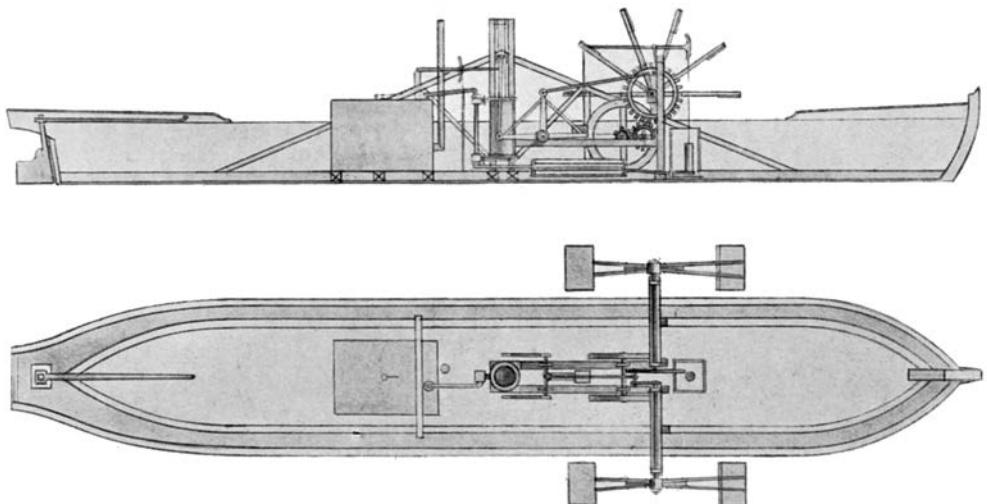
Nogle kemikere hævdede omkring år 1800, at grundstoffer kunne kombineres på mange måder og danne samme kemiske forbindelse. Natrium og klor kunne således i mange forhold danne salt. Kemikeren Joseph Louis Proust (1754-1826) mente ikke, dette var muligt. Hvis de to stoffer kombineredes, var det altid – uanset tid og sted – i samme forhold, hvis der skulle

dannes salt. Kemien var en naturvidenskab underkastet universelle love af samme art som dem, der fandtes i fysikken. Det var på basis af denne teori og dens empiriske evidens, at Dalton kunne formulere sin atomteori. Næsten samtidig formulerede lægen Thomas Young (1773-1829) en teori om lyset, der genoplevede Christiaan Huygens' (1629-95) bølgeteorি og dermed gik imod Newtons atomteori. Det skete på basis af en række eksperimenter, der klart syntes at vise, at lys er bølger snarere end partikelstrømme.

I Paris samlede Napoleon mange af de bedste videnskabsmænd omkring de nye institutioner og læreanstalter, som revolutionen havde skabt. Bestræbelsen gik ud på at bringe videnskab og teknologi til folket i forhåbning om, at det ville forbedre samfundet. Kendtest er École Polytechnique, der blomstrede i Paris omkring år 1800. Her var tilknyttet en række matematikere og fysikere, som skulle uddanne militæringeniører for at optimere Napoleons hære. Ambitionen var at erobre Europa og bringe de såkaldt nye tider til sejr. Det var direkte brug af videnskaben i opgøret med de gamle tider, ofte kaldet *ancien régime*.

I Paris arbejdede biologen og fysikeren Marie François Bichat (1771-1802) med mikroskop, og det begyndte at blive klart for ham, at de levende organismer ikke bare består af hjerter og lunger, hjerner og muskler, men at der er organisationsniveauer derunder. Der er f.eks. forskellige typer af væv, og måske typer af elementer i væv. Han kom tæt på at formulere en celleteori. Rundt omkring i Europa arbejdedes der også med varme og elektricitet. Italieneren Alessandro Volta (1745-1827) tog til Paris for at vise Napoleon sit nyligt konstruerede elektriske batteri, og Napoleon gjorde ham begejstret til greve.

Samtidig udspillede begyndelsen til en ny opfattelse af naturens historie. Den svenske botanist Carl von Linné (1707-78) havde beskrevet og kategoriseret mange af de biologiske arter og dermed grundlagt den moderne taksonomi. Franskmanden Georges Buffon (1707-88) havde allerede i 1770'erne fremlagt teorier om, at Jordens overflade forandrer sig meget igennem tiden, men at disse forandringer skyldes, at de samme kræfter til alle tider er virksomme. Engländeren James Hutton (1726-97) – en af den skotske oplysningstids store tænkere uover Adam Smith – fremlagde en mere radikal teori om Jorden, som stred klart imod kristendommens forestillinger. Hutton anså Jorden for næsten evig, men foranderlig. De forskellige tilstande, den har været i, er resultat af fysiske kræfter såsom erosion



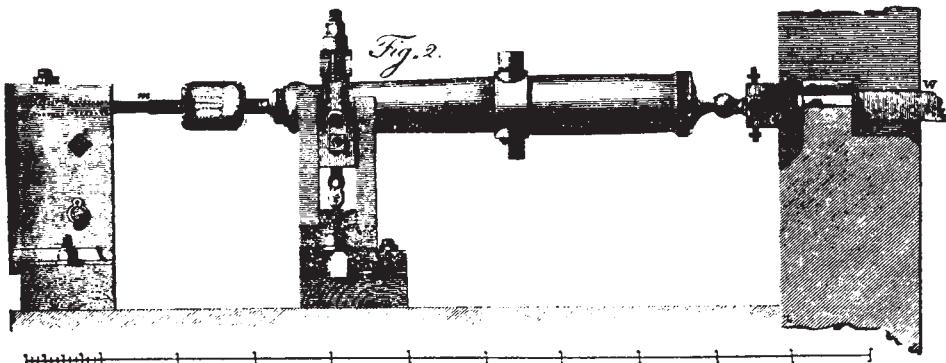
og sedimentering. Geologien skulle give helt andre forklaringer senere, men på basis af samme teoretiske udgangspunkt.

Biologerne Georges Cuvier (1769-1832) og Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) var uenige om, hvordan man skulle tolke de mange opdagelser, man gjorde i forbindelse med biologiske undersøgelser, f.eks. fund af fossiler. Var disse rester af uddøde arter, eller var de forløbere for de nuværende arter? Cuvier mente, at Jorden var langt ældre end de ca. 6000 år, man kunne regne sig frem til ud fra Bibelens forskellige tidoversigter, og han mente også, at fossiler var rester af for længst forsvundne livsformer. Han udviklede en slags generaliseret syndflodshypotese, ifølge hvilken de fossilerede livsformer var gået til grunde, og de nulevende var de overlevende. Hans opponent Lamarck mente, at arter udvikler, forandrer og tilpasser sig. Reelt var fossiler ikke efterladenskaber af uddøde arter, men forløbere for de i dag eksisterende arter. At man overhovedet kunne starte en diskussion af organismernes historie og udvikling skyldtes, at man så småt begyndte at forestille sig, at Jorden var langt ældre end hidtil havde antaget.

Mange andre steder var der lignende nybrud. Den tidligere nævnte kemiker Lavoisier havde fremsat den teori, at varme var en væskelignende substans, *caloric*, der fandtes i genstande, der kunne blive varme. Det er

Første gang den amerikanske ingeniør og opfinder Robert Fulton (1765-1815) præsenterede en model til en dampbåd for Napoleon, svarede han: "Vil De få et skib til at sejle mod vind og strøm ved at tænde et bål under dets dæk? Ved Gud, De må undskyld mig, men jeg har ikke tid til det vrøvl." Men den 9. august 1803 sejlede den første dampbåd op ad Seinen med en hastighed på 5 km/t og med en stor menneskemængde som tilskuere. Her ses Fultons skitser til dampbåden. Fulton var også manden bag den første fungerende ubåd *Nautilus*.

Rumfords apparat til udboring af kanoner.



den forestilling, der ligger bag udtrykket om, at noget indeholder mange calorier, dvs. kan producere megen varme. En varmemaskine som f.eks. en dampmaskine virker ifølge denne teori, fordi varmen i form af caloric så at sige flyder igennem den – den er en art caloric-mølle.

I München arbejdede den amerikanske ingenør og fysiker Graf von Rumford (1753-1814) med at producere kanoner. Når han borede dem ud, blev metallet varmt. Rumford bemærkede, at når boret blev uskarpt, så blev kanonens metal mere varmt. Hvis varme var en egenskab ved metallet – som altså indeholdt calorier, der blev frigjort ved boringen – så burde et uskarpt bor frigøre mindre varme, idet der jo så blev boret mindre effektivt. Virkeligheden viste sig omvendt, og teorien gik imod den faktiske observation. Varmemængden var altså ikke afhængig af metalmængden, men snarere af arbejdsmængden. Varme og arbejde var proportionale, og Rumford mente derfor, at de havde noget med hinanden at gøre. Varme kunne ikke være en substans i sig selv. Først langt senere i 1800-tallet fik man hold på, hvad varme egentlig er.

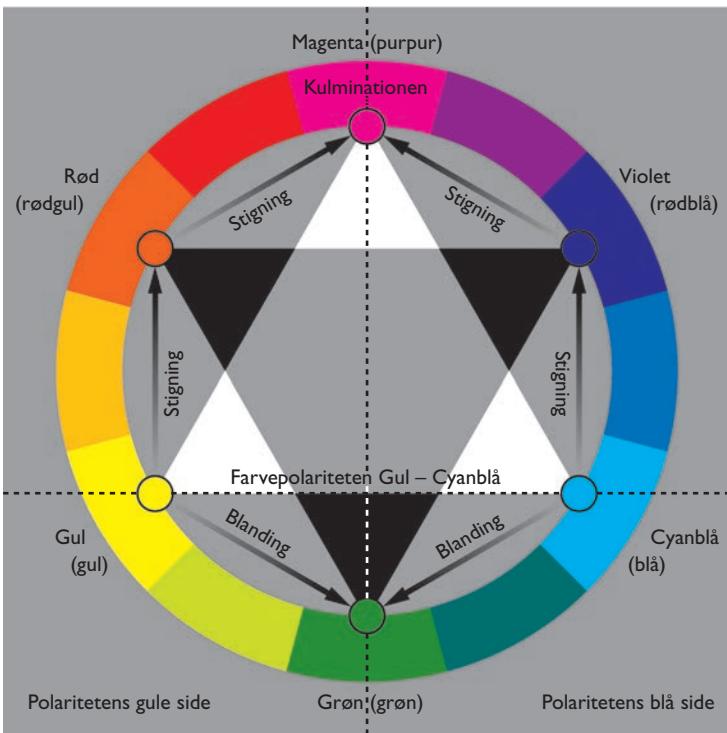
Samtidig udviklede varme-teknologien sig voldsomt. Dens væsentligste former var dampmaskine, dampske og senere jernbane og damplokomotiver. Også omkring år 1800 eksperimenterede englænderen Henry Maudslay (1771-1831) med at udvikle en drejebænk, der kunne sikre, at man kunne producere virkelig nøjagtige metalgenstande. Maudsleys drejebænk blev det basale redskab i den industrielle revolution. Kul, støbejern og stål var råmaterialene, dampmaskinerne leverede energien og udførte store dele af arbejdet – men uden drejebænken ville det være umuligt reelt at producere

de metalgenstande, som det hele var baseret på. Maskiner var ikke længere først og fremmest instrumenter som f.eks. ure, sådan som opfattelsen havde været i 1600-tallet. I 1800-tallet var maskiner dampmaskiner og drejebænke, og energi og præcision de centrale kvaliteter.

## Romantisk videnskab

I slutningen af 1700-tallet kom der en reaktion imod oplysningsstidens idealer om en universel fornuft. Det skete især inden for de områder, som oplysningsstiden havde udpeget som ikke-viden. Det var inden for kunsten, at den først kom, og senere også i høj grad inden for det politiske, hvor det universelle blev erstattet af det lokale og det nationale. Der var ikke tale om en samlet reaktion, og de videnskabelige og filosofiske hovedpositioner, som oplysningsstiden havde frembragt, fortsatte uændrede – endda i høj grad uændrede af de store politiske omvæltninger, der skete omkring år 1800 i Europa. Men alligevel kan man tale om, at oplysningsstidens opfattelse af erkendelse og videnskab blev påvirket af de nye strømninger. Etableringen af enkeltvidenskaberne havde opløst helhedsopfattelsen af verden og mennesket og i stedet knæsat naturvidenskaben som den “egentlige” erkendelsesform og sansningen som den “egentlige” kilde til erkendelse. Dermed var betydningen af filosofi, kunst og religion i høj grad blevet begrænset.

Allerede i sin såkaldte litterære Sturm und Drang-periode arbejdede Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832) med naturvidenskabelige problemstillinger. Han var optaget af spørgsmål om, hvilket billede videnskaben gav af naturen, og af sammenhængen imellem natur og menneske. Han antog en anden sammenhæng end blot den, at mennesket observerede naturen, og at naturen var en i og for sig død mekanisme. Både biologiske og fysiske fænomener interesserede ham. Han anskaffede bl.a. prismaer for at gøre forsøg med lys og farver. Han var af den opfattelse, at når man tog et prisme og så igennem det imod en lyskilde, der udsendte hvidt lys, ville man kunne se forskellige farver. Det var så at sige omvendt af Newton, der sendte lys ind på en skærm og betragtede denne. Goethe pegede lyset mod sig selv, satte sig selv i skærmens sted. Til sin store skuffelse så han intet farvespektrum og ej heller lyskilden i en bestemt farve. Han så derimod dele af spektret i forbindelse med pludselige overgange mellem lyst og mørkt. Hvis han så imod et hvidt stearinlys på en mørk baggrund, så var én del af spektret på



Goethe samlede sine studier af farverne i en farvecirkel, som indeholder både de farver, som Newton så i sine prismeforsøg (repræsenteret ved den mørke trekant: rød, violet og grøn), og de farver, som han selv så i sine undersøgelser af skygger og i overgangen mellem lys og mørke (repræsenteret ved den lyse trekant: magenta, cyanblå og gul). I farvecirklen genkender man alle de lovmæssigheder om farveblandinger, om polariteter, komplementariteter og farvestigninger, som farverne folger overalt i naturen. Og fordi genkendelse ifølge Goethe er harmoni, kaldte han sin farvecirkel "den harmoniske farvecirkel".

den ene side af lyset og den anden del på den anden side. Hvis han så imod et sort lys på hvid baggrund, var det lige omvendt. Goethe mente med sine eksperimenter at have modbevist Newton. Newtons teori var slet ikke en teori om farver, hævdede han. Muligvis var det en teori om, hvordan små partikler med forskellige hastigheder opførte sig, men det var under ingen omstændigheder en teori om farver.

Hvis farver er noget subjektivt, så er studiet af dem knyttet til psykologien, men hvis farver er knyttet til materielle genstande, så må studiet af dem være en del af fysikken eller kemien. Goethe mente, at hvis man laver en teori om farver, der i virkeligheden hævder, at der ikke findes noget farvet, men at farver er et mentalt, subjektivt fænomen, forårsaget af bestemte fysiske egenskaber ved materielle genstande – så må konklusionen nødvendigvis være, at fysikken slet ikke studerer den verden, vi mennesker faktisk lever i. Eller sagt med andre ord: hvis fysikken hævder, at farvede genstande er illusioner, at farverne så at sige ikke er materielt virkelige, men kun findes i menneskers bevidsthed, så er der efter Goethes opfattelse noget galt med fysikken. Hvem har nu ret? Er de grønne træer og de røde roser slet ikke grønne og røde, men genstande uden farve, der har sådanne egenskaber, at

de giver anledning til oplevelse af grønt og rødt i vores bevidsthed, eller er de faktisk grønne og røde, også når ingen ser på dem? Påstanden om, at de kun er røde og grønne, når nogen ser på dem, er i filosofiens historie kendt som et standpunkt kaldt subjektiv idealisme, som den irske biskop George Berkeley (1685-1753) indtog.

Goethes opfattelse af farver fik stor indflydelse inden for psykologien og humanvidenskaberne, og mange af hans begreber bruger vi stadig: varme og kolde farver, dvs. ideen om at farver har en slags temperatur, komplementærfarver, dvs. ideen om at farver har en begrebsmæssig struktur, der ikke er spektrets – hvor de jo ikke ligger over for hinanden, som i en cirkel, men i et bånd, dvs. kun ved siden af hinanden eller langt fra hinanden. Han kunne også forklare fænomener som farveblandinger af f.eks. gul og blå, der bliver til grøn, og farvestigning fra f.eks. gul til orange, som opstår, når man fylder en glastrappe med gul væske, hvor nederste trin vil have farven gul, men jo flere trapper der fyldes, jo tættere og mere orange vil farven blive.

Det centrale i kontroversen mellem Goethe og Newton er imidlertid de to helt forskellige naturbegreber, der er i spil. For Newton drejede det sig om at give en beskrivelse af en objektiv natur, der eksisterer uafhængigt af mennesket som observatør. Goethe, derimod, ønskede at give en beskrivelse af den natur, som mennesket oplever og befinner sig midt i. Og han ønskede en videnskab – en erkendelse – der ikke skiller sig ud i bestemte enkeltvidenskaber, og altså ikke accepterer, at f.eks. et fænomen er psykologisk, og et andet er fysisk, og at de derfor skal beskrives og forklares helt forskelligt. Han ønskede derimod en helhedsorienteret videnskab, der ikke indebar et skarpt skel imellem den observerede verden og det observerende subjekt.

Goethes bestræbelser deltes af mange filosoffer og forskere. Man talte om ”naturfilosofi”, en form for erkendelse, der skulle forene empirisk observation, subjektiv intuition, æstetisk og religiøs følsomhed og give en sammenhængende forståelse af mennesket og dets plads i universet. Denne helhed blev forstået som en art åndelig helhed, noget nær en åndelig organisme, hvor de enkelte elementer var en slags organer. Det førte til blik for træk ved naturen, som en strengt mekanisk opfattelse ikke kunne finde frem til: mangfoldighed, udvikling og forandring, sammenhæng i form af gensidig afhængighed. Efter Kant havde de fleste filosoffer draget den konklusion, at virkeligheden, som den forelå for os, var af åndelig eller subjektiv natur, og at det afgørende strukturerende element i den var subjektet.

Filosoffer som Johann Gottlieb Fichte (1762-1814) og Friedrich Wilhelm Joseph Schelling (1775-1854) fremlagde opfattelser, der hævdede, at naturen var subjektiv af væsen, at den nærmest var at betragte som den proces, hvorigennem et subjekt bliver bevidst om noget, herunder specielt sig selv. Træk ved subjektiviteten ville derfor være centrale også for naturen. Studier af følelser og andre subjektive processer var derfor af naturvidenskabelig relevans. For disse naturfilosoffer var især de dynamiske processer i naturen af betydning. Eksempler på sådanne, der blev grundigt eksperimentelt undersøgt, men som ikke blev tilsvarende forstået, er elektricitet og magnetisme. Disse fænomener er karakteriserede ved at være polære og ved kun at kunne studeres i deres dynamiske effekter. Det er igennem tiltrækning og frastødning, at vi erkender, at et stof er magnetisk, eller at noget er elektrisk ladet. Schelling var overbevist om, at naturen og jeget var i interaktion, men ikke altid om, at naturen var frembragt af jeget, men snarere, at naturen og jeget var en helhed, der udviklede sig i en dynamisk proces.

Alle fænomener var udslag af ét og samme urfænomen. Goethe havde studeret især planters udvikling og vækst og bemærket tendenserne til, at noget komplekst altid var fremkommet af noget mere simpelt eller elementært, der i sig havde kimen til det komplekse. Schelling mente, at f.eks. alle de kræfter, der var i naturen og i mennesket, kunne oversættes eller konverteres til hinanden. Studier af arbejde og varme, af kemiske reaktioner og varme, og af varme og lys – alt dette syntes at vise dynamiske sammenhænge. F.eks. så man, at meget varmt metal netop ikke kun var vampt, men også glødende, lysende. Kraft, udvikling og dynamik var centrale træk ved både det menneskelige følelsesliv, specielt som det kom til udtryk i kunsten, og i naturen. En mekanisk natur og en rationel fornuft var kun vague og misvisende billeder på, hvordan virkeligheden egentlig var. I stedet præsenterede de romantiske naturfilosoffer et billede af virkeligheden som en stor organisme, som besjælet og sammenhængende. Konkret fik naturfilosofien ikke de store videnskabelige følgevirkninger, men den inspirerede til opposition mod et reduktionistisk og mekanisk naturbegreb, og mod opsplitningen af erkendelsen og udgrænsningen af kognitive processer som følelser og intuition.



## Geniet på arbejde

På to områder kan man dog alligevel sige, at den romantiske naturfilosofi har haft stor indflydelse. Det ene er i ideen om, at erkendelse og kreativitet har en særlig relation hos bestemte individer – genierne. Geni-tanken findes allerede hos Kant, men det er hos de egentlige naturfilosoffer og romantiske idealister, at forestillingen om, at sand erkendelse kun kan nås af bestemte individer med særlig relation til naturen og ”det guddommelige”, finder fuld blomstring. Geni-tanken er stadig levende i dag, hvor både store kunstnere og store videnskabsmænd opfattes som genier.

Modsatningen til geni-tanken er den mere rationalistiske, at alle mennesker fundamentalt set har samme evner, og at der inden for videnskaben kan opstilles regler og metoder, som, hvis de følges, vil give resultater i form af ny erkendelse. Det oplyste og rationelle menneske med de平衡erede følelser er et demokratisk, næsten republikansk, individ, der ser sig selv som én blandt ligemænd og -kvinder, og ser den fælles udvikling som målet.

For den engelske digter og maler William Blake (1757-1827) var Newton det ensomme geni, der alene i oceanets dyb og i fuldstændt sammen-smelting med naturen tænkte og regnede sig frem til dens hemmeligheder. William Blake: *Newton*, 1795. Tate Gallery, London.



Forskning og undervisning skulle base res på en forestilling om, at videnskaben var et åndesaristokrati. Her ses naturvidenskabsmanden og den opdagelsesrejsende Alexander von Humboldt (1769-1859) alene i sit bibliotek, malet af Eduard Hildebrandt (1818-69) i 1856.

Bpk/Kunstbibliothek.

I modsætning hertil er geniet det usædvanlige individ, der har særlige evner, ser noget særligt og er "forud for sin tid". Genitanken lever kraftigst inden for kunsten, mens videnskabens verden efterhånden organiseres på måder, der i højere grad understreger det fælles projekt. Senere kommer

der en ny type erkendelses-arbejder til: eksperten. Eksperten er ikke et geni, men heller ikke lige med de andre. Vedkommende har særlige evner og privilegier i kraft sin specialiserede viden og sin videnskabelige uddannelse.

For de romantiske naturfilosoffer var frihed i betydningen åndelig frihed noget helt afgørende, ligesom frihed også var blevet et vitalt politisk begreb som følge af de europæiske revolutioner. Det særlige fokus på åndelig frihed satte sig spor i universitetet, især i form af ideen om akademisk frihed. Universiteterne havde indtil omkring 1800 primært været læreanstalter i ordets egentlige betydning, og forskning og tænkning var foregået i akademier. Oplysningen og især Den Franske Revolution havde ført til dannelsen

af særlige special-skoler, der skulle uddanne videnskabeligt trænede specialister. Det skete som fornævnt inden for militærteknologi og inden for andre af de fremvoksende teknologier, der krævede andet og mere end håndværksmæssig kunnen. Det blev til den franske tradition for “grandes écoles”.

Universitetet i Königsberg, hvor Kant underviste hele sit liv, var en skole med under 1000 studerende og få lærere, som man antog kunne undervise i praktisk taget alt. Der var ingen ide om specialisering og slet ingen ide om forskning, og opgaven var først og fremmest at uddanne embedsmænd, der kunne være statens tjenere.

Hen imod slutningen af sit liv formulerede Kant nogle nye tanker om universitetet og specielt om filosofiens rolle på universitetet. Filosofien skulle ikke være tjener eller indledende emne, men være kronen på værket – det helheds-synspunkt, hvorunder alt andet skulle ses. For Kant var det vigtigt, at dette helhedssyn var forpligtet på sandhed og kun sandhed, og ikke på nytte, på at tjene staten eller fyrsten el.lign. Det kunne kun ske i frihed. Derfor hørte sandhed og frihed uløseligt sammen, hvilket måtte afspejles i den måde, universitetet var organiseret på: et universitet kunne kun stå under fornuftens love. Disse ideer videreførtes af Fichte, Schelling, Friedrich Schleiermacher (1768-1834), Henrik Steffens (1773-1845) og ikke mindst af sprogforskeren, politikeren og embedsmanden Wilhelm von Humboldt (1767-1835). De beskæftigede sig alle med, hvad akademisk arbejde og forskning overhovedet var, og de mente alle, at der skulle være en klar sammenhæng imellem forskning og undervisning. Undervisningen skulle være en forskende læring, og forskningen en lærende forskning.

Samtidig var man dog ikke forpligtet over for nogen form for demokrati eller universalisme. Forskning og undervisning skulle være baseret på en forestilling om, at videnskaben bestemt ikke var et demokratisk felt, men snarere et ægte aristokrati, hvor kun det bedste ville overleve. Det var et åndsaristokrati, man stræbte imod, og ikke en de lærdes republik, sådan som de franske oplysningsfilosoffer havde villet det. Universitetet skulle være en konkret realisering af åndens ideelle, sammenhørende organisme. Humboldt havde samtidig forestillinger om, at denne åndelige organisme, som universitetet skulle manifestere, bestemt ikke var universel, men snarere var knyttet til de enkelte folkeslag. Det tyske universitet skulle således udmønte og realisere den tyske ånd, sådan som den kom frem i det tyske folk og det tyske sprog.

Universitetet var ikke et redskab for den demokratiske og universelle fornuft, men for den specifikt nationale ånd. Den åndelige frihed var en national frihed, og den akademiske frihed var denne ånds mulighed for at manifester sig uhindret af tilfældige herskere og fyrstehuse, der omkring 1800 bestemt ikke nødvendigvis var nationale. Humboldt var i 1810 en væsentlig faktor omkring etableringen af det første nye nationale universitet i Tyskland, der skulle hjælpe til reetablering af Tyskland ovenpå Prøjsens nederlag i Napoleonskrigene. Det blev grundlagt i den tyske hovedby Berlin og blev snart et videnskabeligt og åndeligt centrum. Fichte blev hurtigt rektor, og Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831) underviste der i de følgende år. Forestillingen om universitetet som en forskningsinstitution, forpligtet alene over for sandheden og derfor kun mulig i frihed, var af stor betydning for institutionens videre udvikling.

## Arbejdsdeling og teknisk rationalitet

Selvom Europa undergår store politiske forandringer og kulturelt befinder sig i en “åndelig” og romantiserende periode, sker der store teknologiske og økonomiske forandringer. Et nyt produktionssystem er under udvikling på basis af nye holdninger, nye erfaringer, mange tekniske fremskridt og nye økonomiske strukturer. Det bliver begyndelsen til det industrielle samfund, markedsøkonomi og fri handel. Oplysningsfilosofferne teoretiserer om disse ting, og i Den Store Franske Encyklopædi får tekniske, praktiske og industrielle emner en enorm vægt. Samtidens tekniske kunnen udstilles i et antal illustrationsbind, der viser, hvordan man gør næsten hvad som helst.

Spindemaskinen, vævemaskinen og dampmaskinen bliver opfundet, og dampmaskinen bliver gjort mere effektiv af James Watt (1736-1819) og bliver dermed en anvendelig energikilde. Jern, stål og kul bliver centrale produkter, og man begynder at forstå, hvordan de frembringes, og hvilke egenskaber de forskellige stoffer har. Landbruget reformeres ud fra mere systematiske erfaringer og målinger, og dets produktivitet stiger voldsomt. Langsomt begynder landskaberne at forandres, der bygges egentlige veje, kanaler, sluser, broer, og senere jernbaner, havneanlæg med kajer, og rundt omkring fabrikker. Rundt om handelscentre og mine-centre udvikles store byer, og til dem knyttes komplicerede tekniske systemer for forsyninger, affald, produktion og distribution.



Økonomer og sociale teoretikere begynder at overveje de spørgsmål, som denne udvikling rejste. Man teoretiserer om penge, markedet, handlen og om det stadigt mere påfaldende faktum, at mange bliver rigere, mens andre må leve i fattigdom og nød. Der opstår en arbejderklasse og børnearbejde i fabrikker, men også et borgerskab og en afskaffelse af slaveriet i dets mange former. Kun langsomt begynder man at forstå de nye maskiner, teknologier og samfundstyper.

Dampmaskinen bliver der teoretiseret om ud fra opfattelsen af, at varme er stoffet caloric, og selvom man først omkring midten af 1800-tallet nå frem til teorier, som vi i dag anser for holdbare, lykkes det ikke desto mindre løbende at forbedre dampmaskinens ydeevne. De rent mekaniske maskiner forstår man bedre, selvom det tager lang tid at få en dybere kemisk forståelse af de processer, der foregår f.eks. ved fremstilling og bearbejdelse af jern og stål. Økonomisk forstår man delvist maskineriet, idet man jo kan konsta-

Kun få år efter opfindelsen af fotografiet i 1839 var denne repræsentationsform blevet et uundværligt redskab for både dokumentarister og kunstnere. På trods af de tekniske vanskeligheder i fotografiets tidlige fase, omfavnede arkæologer, ingeniører, videnskabsfolk, handelsrejsede, professionelle og amatører fotografiet som det nye og rette medium til at dokumentere tilblivelsen af den moderne verden i anden halvdel af 1800-tallet. På dette foto kan man se konstruktionen af Crystal Palace i London, fotograferet af Philip Henry Delamotte i 1853. British Library.

tere, at man tjener penge på det, men en egentlig forståelse af fabrikernes indvirkninger på menneske og samfund lader vente på sig. De store fabrikker baseret på maskineri er stadig et nyt fænomen, og man har ikke distance nok til begivenhederne til at kunne analysere dem. Først omkring 1830 har man gjort sig så mange erfaringer, at det er muligt at begynde at fremsætte teorier om samspillet mellem menneske, maskine, arbejde, organisation og økonomi. Dermed starter en udvikling af ideer om arbejdet, som er helt specifik for det industrielle samfund.

Op igennem 1800-tallet stiger kompleksiteten i samfundet enormt. Industrialiseringen medfører næsten eksponentielle stigninger i produktion og forbrug, i priser og i næsten alle andre målbare sociale og økonomiske indikatorer. Det er en udpræget væksttilstand, der på den ene side løser problemer – den skaber f.eks. højere levestandard og længere levetid – men på den anden side også skaber andre. Befolningstallet øges dramatisk, og der opstår helt nye typer af udfordringer knyttet til de store, tætte og komplekse samfund.

Allerede Adam Smith formulerer i slutningen af 1700-tallet teorier om arbejdssdeling. Hvor en håndværker i principippet kan klare hele produktionsprocessen fra råvare til færdigt produkt, og endda ofte selv frembringer de relevante råvarer og værktøjer, så er det delte arbejde karakteriseret ved, at den enkelte person specialiseres og dermed kun udfører en enkelt arbejdsfunktion. Arbejdet var allerede tidligt delt i den betydning, at der var en opdeling i forskellige fag. Snedkere, bagere, bogtrykkere, hver lavede de deres. Men dette var en opdeling efter typer af produkter. Inden for de enkelte fag var der ikke nogen opdeling. Den enkelte håndværker fulgte det enkelte produkt fra først til sidst.

Inden for visse områder startede man med en forsiktig arbejdssdeling, f.eks. forskellen i trykkerierne mellem sætttere og trykkere, og i meget store køkkener skete en arbejdssdeling, ligesom det var foregået på de få store arbejdspladser, der fandtes. Eksempler kunne være det store værft Arsenalet i Venedig, eller ved de store byggerier af kirker og paladser. De statslige manufakturer, der blev oprettet af enevældige konger under inspiration af merkantilistiske ideer involverede også arbejdssdeling. Men det var en arbejdssdeling på basis af håndværk. Først med introduktionen af nye fabriksmaskiner til brug i bomuldsindustrien ændredes der fundamentalt på arbejdets natur, og på basis af disse erfaringer skifter forståelsen af arbejdet også. De franske fysiotrater havde opfattet jord som kilden til al værdi, som

den centrale økonomiske faktor. Udnyttelsen af jorden var derfor central, og mange af dem ønskede at ændre på landbruget og især at introducere videnskabelige teknikker. Også handel, mente mange, var en kilde til værdi, og især Adam Smith argumenterede for frihandel. Ifølge ham var det til staters genseidige fordel at handle med varer, selv når den ene stat var den anden langt overlegen, hvad produktionsevne angik.

## • Fordelen ved samhandel

Den engelske økonom David Ricardo (1772-1823) viderefudviklede mange af Adam Smiths ideer og fremlagde i 1817 sin teori om “comparative advantage”, ifølge hvilken det er til fordel for to lande at handle med varer indbyrdes, selvom det ene land producerer varerne billigere. Så længe der eksisterer en relativ, dvs. en kompara-

tiv, fordel i produktionen af en vare, vil en specialisering i denne vare medføre en øget samlet produktion og dermed skabe større rigdom for begge lande.

Ricardo brugte følgende eksempel: lad os antage, at produktionen af vin og vævet stof i henholdsvis England og Portugal kræver det følgende antal arbejdstimer:

	Antal timer for at lave 1 enhed		Mængde af produktion på 40 timer	
	Vin	Vævet stof	Vin	Vævet stof
Portugal	10 timer	20 timer	4 flasker	2 meter
England	8 timer	5 timer	5 flasker	8 meter

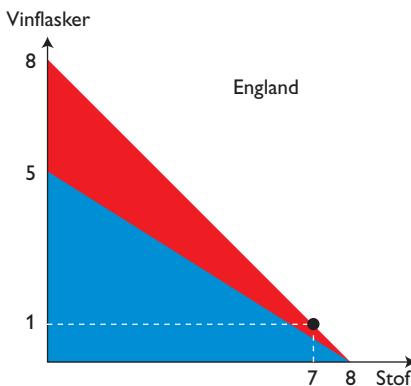
I tabellen ser man, at England har en absolut fordel i produktionen af både vin og stof, fordi arbejderne kan producere mere vin og mere stof på en 40 timers arbeudsuge, end man kan i Portugal. Alligevel kan det betale sig at handle med Portugal. Hvorfor? Fordi de såkaldte alternativomkostninger, der angiver, hvad en arbejder i Portugal hhv. Eng-

land må opre for at producere en flaske vin hhv. en meter stof, er forskellige. Alternativomkostninger angiver med andre ord de omkostninger, der er ved en handling, når der også indregnes de tab, der kommer af, at handlingen udelukker andre samtidige handlinger. I vores tilfælde er alternativomkostningerne således:

	1 flaske vin (i forhold til hvor meget stof, man ikke får produceret)	1 meter vævet stof (i forhold til hvor meget vin, man ikke får produceret)
Portugal	$\frac{1}{2}$ meter stof	2 flasker vin
England	$\frac{8}{5}$ meter stof	$\frac{5}{8}$ flasker vin

En arbejder i Portugal, som gerne vil producere en flaske vin, har brug for 10 timer (forrige tabel), men i samme tidsrum kunne

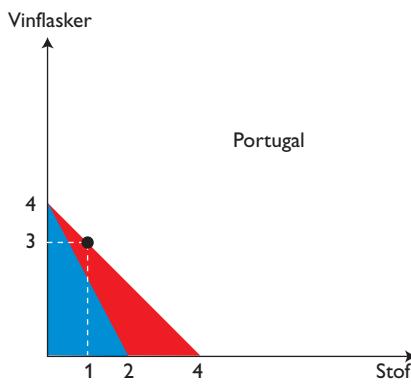
han eller hun kun have lavet  $\frac{1}{2}$  meter stof. Omvendt kunne en engelsk arbejder have lavet hele  $\frac{8}{5}$  meter stof i det tidsrum, som det tager at ►



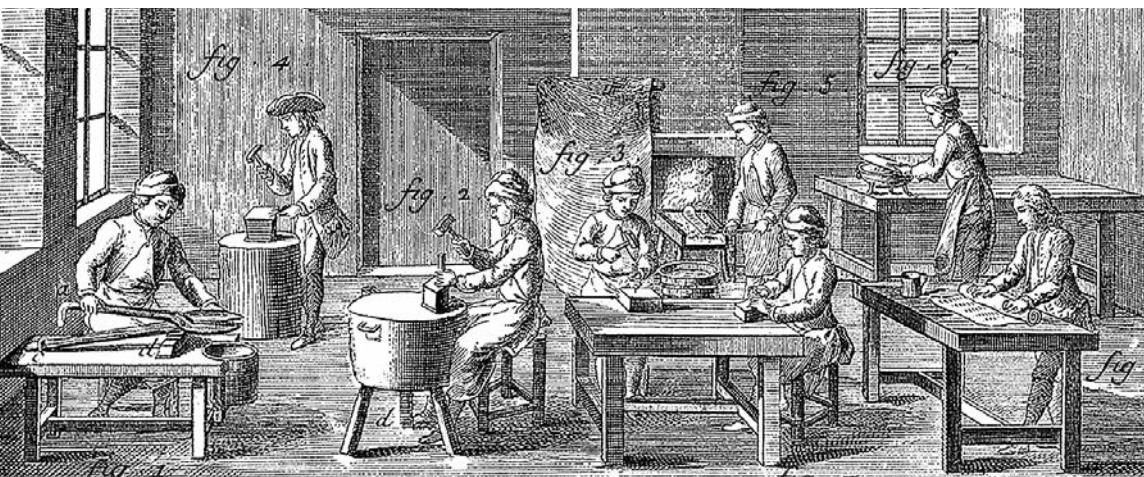
producere 1 flaske vin. Det betyder, at Portugal har en komparativ fordel i produktionen af vin, fordi alternativomkostningerne er lavere i Portugal end i England, mens England har en komparativ fordel i produktionen af stof, fordi alternativomkostningerne er lavere i England end i Portugal.

Det blå område i de to grafer viser produktionskapaciteten for hhv. England og Portugal. Hvis de to lande beslutter at handle med hinanden til en pris, som ligger midt imellem de to landes alternativomkostninger, så vil landene kunne have et forbrug, der ligger på den røde linje, og dermed hinsides deres individuelle produktionskapaciteter. Hvis en portugisisk og en engelsk arbejder f.eks. beslutter at handle 1 flaske vin for 1 meter vævet stof, vil en engelsk arbejder kunne forbruge 7 meter stof og 1 flaske vin, hvilken han eller hun ikke ville have kunnet produceret alene. Tilsvarende vil den portugisiske arbejder kunne nyde 3 flasker vin og bruge 1 meter stof, hvilket han eller hun heller ikke selv ville have evnet at producere alene.

Forudsat at der ikke er transport- og andre omkostninger i spil, viser eksemplet, hvorfor økonomer argumenterer for, at fri handel er bedre end ingen handel.



Men Smith var også en af de første, der begyndte at indse, at arbejdet var en afgørende faktor i værdiskabelsen. Det var derfor, han ville øge arbejdets produktivitet. Et af de vigtigste midler var arbejdsdeling. Det øgede fokus gjorde den enkelte arbejder bedre og dermed mere produktiv, ligesom det var en fordel, at man ikke brugte tid på at gå fra én arbejdssituasjon til en anden, men hele tiden lavede det samme. Og så gjorde introduktionen af maskinerne det yderligere naturligt at fokusere på arbejdsdeling. Håndværkeren bruger redskaber og værktøjer. Det forbedrer arbejdet og er ofte ligefrem en nødvendighed for, at det overhovedet kan udføres: uden økse, sav og hammer er tømreren dårligt stillet. Men håndværkeren har et helt arsenal af værktøjer til sin rådighed, som han bruger i forskellige led af produktionen. Maskiner laver derimod typisk kun én ting, så først når arbejdet brydes ned i sine enkelte bestanddele, bliver det muligt at udføre ved



hjælp af maskiner. Det skete i denne periode især i tekstilindustrien, hvor bomuld skulle spindes til tråd, og tråde væves til klæde.

Adam Smiths mest kendte eksempel på arbejdsdeling er fremstillingen af synåle. Han argumenterer for, at en gruppe mennesker på en given tid kan fremstille mange flere synåle, hvis de ikke hver især laver hele processen fra stål til færdig nål, men deler arbejdet op i faser og enkelte processer, som hver person så udfører. Arbejdet bliver organiseret, samtidig med at det bliver delt.

Omkring 1830 kommer så de første systematiske studier og teorier om samspillet mellem arbejde, organisation og maskiner. Det er den engelske matematiker og opfinder Charles Babbage (1792-1871), der i 1833 i bogen *On the Economy of Machinery and Manufactures* fremlægger både nogle første empiriske studier og teorier. Hans bud på arbejdsdelingens gevinst er f.eks., at prisen på en nål ville være tre til fire gange højere, hvis man producerede den uden anvendelse af arbejdsdeling. Men Babbage er klar over, at den helt afgørende effekt af arbejdsdeling er, at den muliggør anvendelse af maskiner. Han taler om forskellen på at lave noget, "to make something", og at fremstille noget maskinelt, "to manufacture something". Maskinel eller snarere industriel fremstilling vedrører produktion af store mængder identiske genstande, der fremstilles i en velorganiseret og veltilrettelagt proces. Ved at gøre det, øges produktiviteten voldsomt, og omkostningerne falder. Derved opstår muligheden for at sænke priserne og øge markedet. Det muliggør igen, at forskellen mellem pris og omkostning kan enten fastholdes eller

Nålefabrik fra omkring 1750 med moderne arbejdsdeling. Stik fra Diderots og d'Alemberts Store Franske Encyklopædi.

direkte øges, og dermed er der skabt mulighed for voldsom indtjening eller profit. Håndværkeren eller kunstneren kan tjene penge – givetvis – men industrialisten kan ved at ændre produktionsprocessen levere et produkt, der er lig med eller måske endda bedre end håndværkerens, og det til en meget lavere omkostning pr. styk og i meget store antal. Omkostningerne kan sænkes, hvis man kan udvikle maskineri, der enten forøger den enkelte arbejdernes produktivitet, eller hvis man kan forenkle arbejdet så meget, at man kan ansætte ufaglærte, og derfor billigere, arbejdere.

Babbage formulerer i sin bog grundprincipperne for den kapitalistiske økonomi og introduktionen af ny teknologi. Han hylder vækst og ønsker, at den industrielle udvikling vil skabe velstand og velfærd. Han mener, at fordelingen af goderne skal være sådan, at alle har et incitament til at medvirke til øget arbejdsdeling og øget brug af ny teknologi. Produktivitetsforøgelser giver muligheder for at skabe større værdi, og denne skal fordeles, så alle får fordel af det. Og det er der mulighed for, hvis man blot holder en konstant vækst, for så er der hele tiden mere og mere at give og tage af. Så vil alle blive bedre stillet, end de ville have været, hvis der ikke var sket øget arbejdsdeling og øget brug af maskineri. For Babbage er fremskridt altså det samme som økonomisk vækst, brug af maskiner og teknologi samt stadige videnskabelige optimeringsanalyser.

Samtidig skal der skabes et incitament til at udvikle nye og bedre maskiner og mere og mere avanceret teknologi. Der skal derfor måles og registreres, analyseres og besluttes. Der skal udvikles maskiner, der kan hjælpe med alt dette. Babbage begynder derfor at tænke på, at også det mentale arbejde kan arbejdsdeles. I en menneskealder arbejder han således med at udvikle automatiske regnemaskiner, det vi i dag kalder computere. For ham er beregning, “calculation”, en af de allervigtigste former for arbejde, og det er muligt at industrialisere denne ved hjælp af arbejdsdeling. Der er dele af beregninger, der er så elementære, at de blot består i at flytte rundt med symboler, der er andre dele, der kræver tilrettelægning af sådanne flytninger, og igen andre, der skal afgøre, hvordan et givet problem overhovedet skal løses ved hjælp af beregning. Den rene flytten rundt med symboler kan gøres af maskiner, mener Babbage. Det er kun et spørgsmål om at finde de simple regler, der gælder for al beregning, eller principielt for al problemløsning. Disse regler kan så nedskrives i et program. Babbage er den første, der formulerer ideen om, at man i et program kan give en almen forskrift for, hvor-

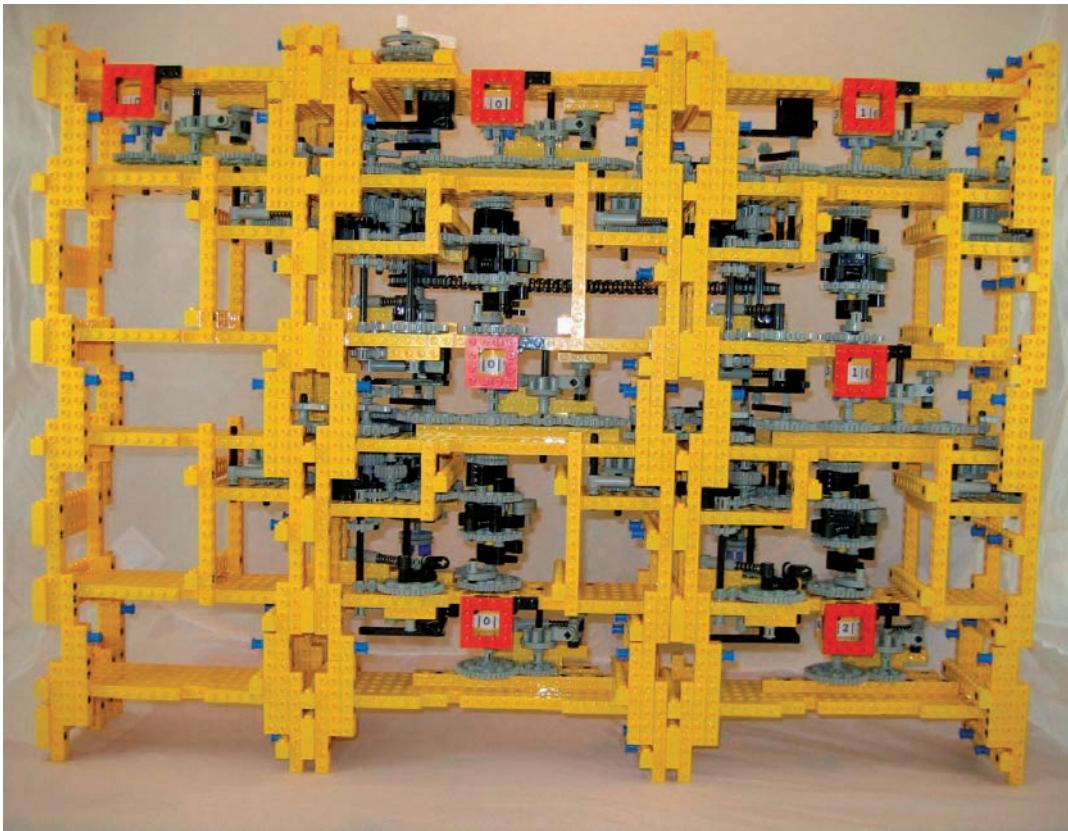
dan en bestemt type beregning udføres, og derefter lade sådan et program styre en fysisk maskine, der så kan beregne ud fra et bestemt input.

Det lykkedes ham faktisk at konstruere principperne for sådanne maskiner, som han kaldte differensmaskiner, og også at realisere dele af dem. Men trods enorme investeringer og mandetimer kunne han ikke løse de helt mekaniske produktionsvanskeligheder. Alligevel opnåede han i processen helt afgørende indsigt i fremstilling af nøjagtigt maskineri og betydningen af standardisering.

Babbage havde som matematiker arbejdet meget med store beregningsopgaver. På hans tid begyndte der at fremkomme mange sådanne opgaver: allerede omkring 1830 var samfundets kompleksitet enorm, og behovet for registrering og talbehandling tilsvarende stort – og det var kraftigt stigende. Men først mere end hundrede år senere lykkedes det ved hjælp af elektronik snarere end mekanik at realisere Babbages ideer om computere. Hans ideer om maskineri, arbejde og økonomi, derimod, fik øjeblikkelig virkning og dannede grundlaget for den industrialisering, der med stigende hast foregik i løbet af 1800-tallet, og som på grundlæggende vis forandrede de vestlige samfund.

Babbage fik hjælp fra grevinden Ada Lovelace (1815-52), der som kvinde og datter af digteren Lord Byron (1788-1824) var en sjælden fugl blandt datidens matematikere. I 1843 kommenterede hun den fransk-italienske matematiker Luigi Federico Menabreas (1809-96) memoirer om den “analytiske maskine”, som var en stor forbedring af differensmaskinen. I sine noter angav hun en detaljeret fremgangsmåde til at udregne de såkaldte Bernoulli-tal, og noterne må siges at være det første computerprogram i verdenshistorien. Ada Lovelace ydede et meget vigtigt bidrag til computerens udvikling gennem sin dybe forståelse af den analytiske maskine og sin evne til at formidle Babbages ideer, og hun anses blandt mange i dag for programmeringens grundlægger.

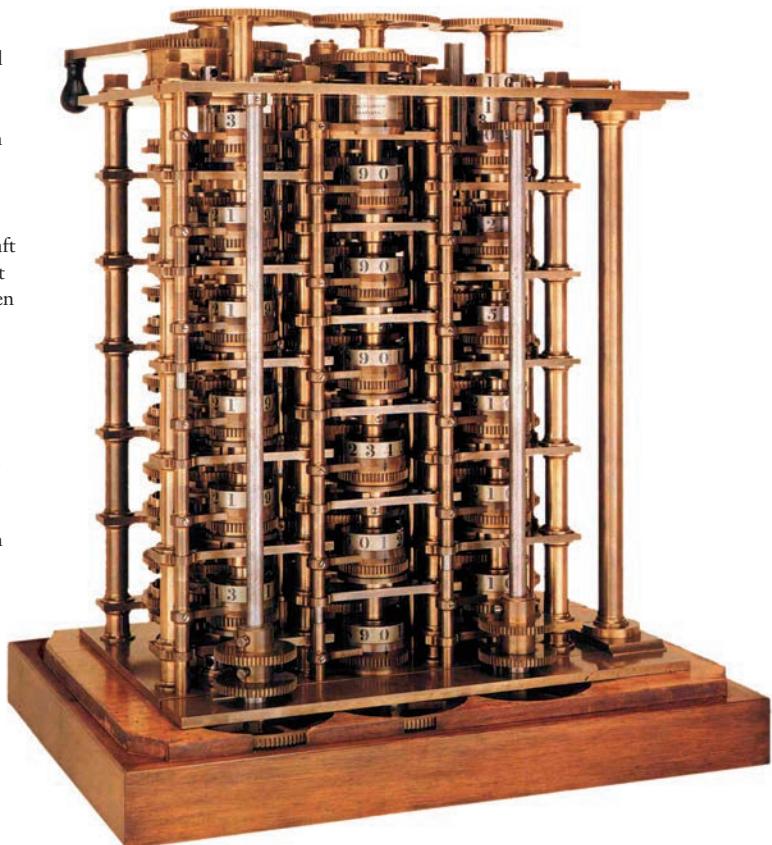
Babbage havde som matematiker stort kendskab til sin samtids viden-skab. Han havde tillid til mekanik og astronomi, og til kemien, der jo siden Lavoisier havde gjort store fremskridt. Kemien skulle give praktiske resul-tater inden for fødevareområdet og landbruget. Men han var mere skeptisk ved fænomener som varme, lys og elektricitet – de var for mystiske for ham. Det var klart, at varme blev brugt til at udføre mekanisk arbejde, det var dampmaskinen jo et vigtigt eksempel på. Det var også klart, at vandfald og



kul var, hvad vi nu kalder energikilder. De kunne bruges til at udføre arbejde, via vandhjul og dampmaskiner. I 1824 havde den franske ingeniør Sadi Carnot (1796-1832) fremlagt en teori om, hvordan energimaskiner fungerer. De rent mekaniske dele med hjul og stænger osv. var for så vidt ikke uklare. Men hvorfor virkede de overhovedet – hvor kom kraften egentlig fra? Der er jo ikke mindre vand, efter at det har drejet vandhjulet rundt, mens der er mindre kul når dampmaskinen har arbejdet. Men hvis man vejede både det, der indgik i kullets forbrænding, og det, der kom ud, var der lige meget før og efter. Alligevel var der blevet udført arbejde. Carnot opfattede – på trods af Rumfords forsøg – varme som et stof, der kunne opfattes som en væske. Når dampmaskinen kunne udføre arbejde, var det fordi varme-stoffet flød igennem den, og nærmest faldt fra højere til lavere positioner eller tilstande. Ved den lavere tilstand havde varmen mistet energi, ligesom en genstand, der falder fra et højere til et lavere punkt.

Carnot stillede sig nu det spørgsmål, om man kunne sige noget generelt

I 2006 byggede en foretaksmaskiner ved navn Andrew Carol (f. 1964) en fungerende differensmaskine a la Babbage ved hjælp af legoklodser. Maskinen kan beregne 2. og 3.-grads polynomier med op til fire decimalers nøjagtighed. Differensmaskinen har altid haft en stor tiltrækningskraft blandt kunstnere og entusiaster, og den blev for alvor introduceret i populærkulturen, da de to cyberpunkforfattere William Gibson (f. 1948) og Bruce Sterling (f. 1954) i 1991 skrev en historisk detektivroman om differensmaskinens tilblivelse (*The Difference Engine*, 1990). Til højre ses en rekonstruktion af en af Charles Babbages' differensmaskiner.



om, hvor meget arbejde en dampmaskine kunne udføre. Der var meget, der pegede på, at man kunne forbedre dampmaskiner – dvs. optimere dem, så de udførte samme arbejde med lavere kulforbrug. Carnot fandt ud af, at det arbejde, som en varmemaskine kunne udføre, alene afhæng af den temperaturforskel, der blev arbejdet med. Jo større afstand fra en maskines varmeste del til dens koldeste, desto mere arbejde kunne den udføre. Måden eller hastigheden, hvorpå man kom fra varmt til koldt, betød ikke noget, og hvad, der var varmt eller koldt, spillede heller ingen rolle. Alene temperaturforskellen var afgørende. Han forestillede sig nu en ideel varmemaskine, der kunne forvandle varme til arbejde og arbejde til varme uden spild. I praksis var en sådan ikke mulig på grund af varmeledning og friktion, men forestillingen om denne abstrakte maskine var væsentlig, for den muliggjorde også, at man på en helt ny måde kunne ræsonner om maskiner og ikke mindst begynde at måle på de faktiske maskiner. Abstraktionen gjorde, at man endnu mere præcist kunne finde frem til, hvori en varmemaskines effektivitet bestod,

eller hvordan dens eventuelle ineffektivitet kunne modvirkes. Det er bl.a. dette tankearbejde, der har ført til nutidens langt mere effektive varmemaskiner, f.eks. bilmotoren og jetmotoren.

Carnot arbejdede som nævnt med en substansteori om varme, men var formentlig klar over, at det gav problemer at antage, at varme i sig selv var en substans, caloric. Det var først i midten af 1800-tallet, at man gjorde en række andre erfaringer og foretog eksperimenter, der medførte, at man endeligt opgav caloric-teorien. Carnot havde imidlertid grundlagt en viden-skab om varme og varmemaskiner, der på en række punkter var uafhængig af hvilken forestilling, man havde om varme. Han grundlagde dermed teori-er om effektivitet, og han viste, at man kunne løse visse typer fysiske proble-mer, uden at det var nødvendigt at gøre sig forestillinger om de involverede mekaniske processer.

## Kritik af aprioriet

Overordnet set kan man sige, at der i løbet af 1800-tallet inden for videnska-ben frembringes et mere og mere detaljeret billede af en mekanisk virkende natur. Der skabes afgørende resultater, der kan danne basis for ny teknologi, og der skabes de første klare institutionelle og begrebslige sammenhænge imellem videnskab og teknologi. Det medfører etableringen af en lang række videnskabeligt funderede funktioner i samfundet, først og fremmest den na-turvidenskabeligt skolede ekspert. Inden for sundhed og industri medfører det enorme forandringer. Der skabes et sundhedsvæsen baseret på videnska-belige teorier, og der udvikles en ingeniørvidenskab med tilhørende profes-sion, der søger at løse væsentlige praktiske problemer med udgangspunkt i naturvidenskabelige teorier. Universiteterne suppleres nu med tekniske højskoler, og uddannelsen af læger og ingeniører baseres på naturvidenskab. Ved universiteter og læreanstalter oprettes rene forskningslaboratorier, der samarbejder med virksomheder og industri. Staten begynder også at gøre brug af den nye type eksperter, f.eks. inden for kontrol med fødevarer, hvor der var store problemer med bedrag og forfalskning. I storbyerne bygges læreanstalter som store paladser, der skal symbolisere den nye magt, som mennesket råder over, når det har indsigt i naturens love. De tidlige ideer, som Francis Bacon (1561-1626), Galilei og Descartes havde om magt over naturen via viden om den, synes at bære frukt. Dette kobles med en ud-

præget tro på, at udvikling også er *fremskridt*. Menneskeånden vil – helt i tråd med oplysningstidens ideer – medføre mange sejre og et konstant fremskridt, der vil forbedre menneskenes lod og i sidste ende frembringe en egentlig civilisation. Videnskab, oplysning og teknologi er midlerne. Disse midler kobles i stigende omfang sammen med ønsket om forøgelse af nytte, forstået som maksimering af nydelse og minimering af smerte. Viden og videnskab skal ikke blot skabe dannelses og oplysning, men også være nyttige redskaber i menneskets tjeneste.

I begyndelsen af århundredet var forestillingerne om det gode samfund i høj grad knyttet til sociale ændringer, og de skulle ske i et samspil imellem teknologi og sociale reformer styret af en samfundsvidenskabelig indsigt. Et eksempel på en sådan reformator var Jeremy Bentham (1748-1832), der udtænkte et utal af samfundsopbyggende tiltag og forsøgte at sammentænke politik, etik og økonomi. Senere blev hovedvægten i forbedringen af menneskenes kår lagt på en sammenkobling af naturvidenskab og teknologi. Dette skyldtes en lang række konkrete opdagelser og formuleringer af nye videnskabelige teorier, der muliggjorde teknologiske ændringer, men som også rejste spørgsmål af mere principiel og filosofisk art.

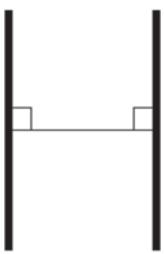
En af konsekvenserne for naturvidenskabens filosofiske historie var et opgør med Kants opfattelse af erkendelsen. Kant mente, at der var træk ved den menneskelige erkendelse, der gik forud for erfaringen, og som var af så fundamental karakter, at der ligefrem var tale om *betingelser* for erkendelse. Kant hævdede med andre ord, at der fandtes erkendelse *a priori* – dvs. erkendelse, der kommer før alt andet, og som er uforanderlig. Og fordi denne apriori-erkendelse var en betingelse for erfaring, måtte erfaringen have et bestemt indhold, netop når den så at sige præsenteredes for os. Vi har erfaringer med det rumlige, og ifølge Kant formuleres disse erfaringer teoretisk i geometrien. Da rummet er, hvad han kalder en apriori anskuelsesform, så findes der kun én rumopfattelse, og derfor også kun én geometri, sådan som Euklid (ca. 300 f.v.t.) har beskrevet den. Denne geometri, sammen med den faktiske opbygning af øjet, giver anledning til en geometrisk optik, der forklarer, hvorfor vi ser verden, som vi gør. Noget tilsvarende gør sig gældende for aritmetikken. Den er baseret på tallene, og talbegrebet er et begreb om kontinuert rækkefølge, der har sit udspring i tiden som apriori-anskuelsesform. Større og mindre er relationer mellem størrelser, og relationer mellem størrelser og relationer mellem tal – forstået som punkter på

en linje – er konceptualiseringer af relationer knyttet til tid. Og tiden er en apriori-erfaring. Aritmetikken er således ligesom geometrien ifølge Kant en teoretisk videnskab, der er og kun kan være på én måde, og som baserer sig på apriori-træk ved den menneskelige erkendelse.

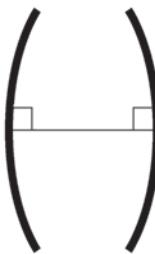
Alt dette blev der nu sat spørgsmålstejn ved. Først opdagedes muligheden for at konstruere geometrier, der ikke er euklidiske. Det viste sig, at man uden at modsige sig selv kan erstatte det såkaldte parallel-aksiom (dvs. Euklids femte postulat, se s. 41) med andre aksiomer. Derved opnås geometrier, hvor der igennem et punkt kan trækkes mere end én linje parallelt med en given linje, hvorfor f.eks. vinkelsummen i en trekant derfor heller ikke længere naturgivent er 180 grader. Der findes mange forskellige ikke-euklidiske geometrier, og det var i midten af 1800-tallet klart, at der hermed var opstået et problem for den kantianske opfattelse af sammenhængen mellem geometri, rum og den menneskelige erkendelse. Geometrien var måske slet ikke en beskrivelse af rummet, og rummet slet ikke en apriori anskuelsesform. Alternativet var at opfatte geometrien som en rent formel videnskab, der ikke sagde noget om rummet, som det empirisk forelå. På samme måde kunne man heller ikke opfatte rummet som en entitet eller en anskuelsesform, der i sig selv udelukkende kunne være på én bestemt måde, enten fordi det er, som det er, eller fordi dets egenskaber er en følge af den menneskelige erkendelses form.

Geometriens egenskaber som formel disciplin var således ikke et udslag af træk ved den menneskelige erkendelse, men snarere af træk ved tæknningen som logisk fænomen overhovedet. Geometri bliver i slutningen af 1800-tallet opfattet som studiet af en række former for transformationer med en række egenskaber. Ved at specificere disse egenskaber kunne man frembringe forskellige geometrier, hvoraf den euklidiske blot var én. Geometrien kunne så forstås enten som en ren empirisk videnskab, der beskrev det faktiske rum, der så kunne være euklidisk eller ikke-euklidisk – hvad der var tilfældet, måtte målinger afgøre. Eller den kunne være netop en ren formel videnskab, der alene havde gyldighed i kraft af, at man ud fra en række antagelser drog slutsninger på en sådan måde, at man aldrig modsagde sig selv. Med andre ord en form for system, der kun refererede til sig selv og kun fulgte sine egne love. En leg med symboler.

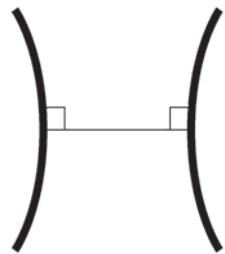
Omkring 1870 opfattede de fleste geometrien som en formel videnskab. Angående rummets væsen var der absolut ingen enighed. Nogle opfattede



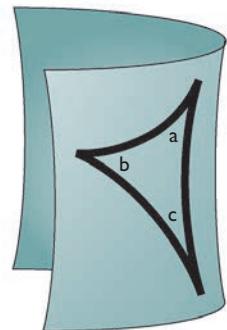
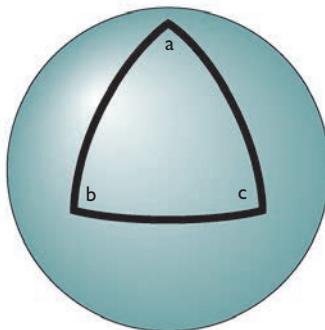
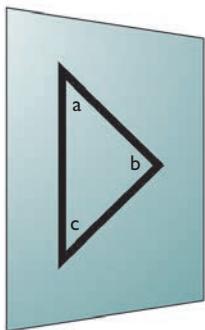
Euklidisk



Elliptisk



Hyperbolisk



det stadig ud fra den metafor, at der var tale om en art stor kasse – faktisk uendelig stor – i hvilken de eksisterende ting og genstan- de var placeret.

Den samme udvikling gør sig gældende i aritmetikken. Her havde den skotske filo- sof David Hume allerede i 1700-tallet hæv- det, at der var tale om indsigt i forhold, om hvilke udsagnene var sande, ikke fordi verden var på en bestemt måde, men fordi vores *begreber* var på en bestemt måde. Det var et rent formelt argu- ment. Der er tre mulige måder, hvorpå en afvikling af Kants forståelse af et apriori kan ske på i aritmetikken. Man kan benægte, at der overhovedet er noget apriori i Kants forstand – og hvis der er, så har det ikke sine grunde i den måde, den menneskelige forstand eller anskuelse er indrettet på. Det er positivismens vej. Den leder i tilfældet med tal og aritmetik til, hvad der kal- des en psykologistisk forståelse af matematikken. Sådan opfattede bl.a. den engelske filosof John Stuart Mill (1806-73) det. Man kan også fastholde den absoluthedskarakter, som apriori har ifølge Kant, men afvise, at det er knyt-

I en euklidisk geometri forbliver to parallele lin- jer i en konstant afstand til hinanden (se s. 41), hvorimod de i en hyperbolisk geometri bøjer væk fra hinanden og i en elliptisk geometri på et tids- punkt vil krydse hinanden. Eks. har en sfære en elliptisk geometri, fordi vinkelsummen af en tre- kant på dens overflade er større end 180 grader (og to parallele linjer vinkelret på ækvator der- for vil mødes i hhv. Nord- og Sydpolen), mens en hyperbolisk geometri giver en vinkelsum i en trekant på mindre end 180 grader.

tet til det menneskelige erkendelsesapparat. Det bliver så i stedet knyttet til almene logiske eller tegnteoretiske forhold. Det bliver en indflydelsesrig løsning i slutningen af 1800-tallet, som logikere og filosoffer som f.eks Gottlob Frege (1848-1925) og Charles Sanders Pierce (1839-1914) forfægter. Endelig kan man fastholde hovedideerne fra Kant og forsøge at modifcere hans teori, så den passer med den videnskabelige udvikling. Det betyder, at begrebet om apriori må ændres betydeligt. Det var en vej, som blev betrådt af den såkaldte neo-kantianisme. Man kan på mange måder sige, at udviklingen i forståelsen af erkendelse og videnskab i løbet af 1800-tallet er et opgør med Kant og forsøg på at etablere alternativer.

## Mekanisk manipulerbar materie

Det mekanistiske synspunkt havde megen medvind igennem århundredet. Så meget, at det blev udviklet til et helt materialistisk og reduktionistisk program. Her antog man, at det, der udgør virkeligheden – det egentligt eksisterende – er materielle legemer i forskellige former for interaktion. Atomteorien, der var blevet overbevisende fremsat inden for kemien i begyndelsen af århundredet, forstærkedes hele tiden. Dmitrij Mendelejevs (1834-1907) opdagelse af det periodiske system i 1860'erne skabte orden og synes at bekræfte teorien. Ligeledes skete der en enorm udvikling i forståelsen af stoffernes struktur ud fra atomhypotesen. Det muliggjorde syntesen af en lang række nye kemiske stoffer – farvestoffer var her nogle af de mest succesrige – og igen forekom det at bekræfte teorien.

Også termodynamikken fik et mekanisk grundlag, da man omkring 1850 begyndte at forstå varme som et mekanisk fænomen knyttet til hastigheden af stoffernes molekyler. Opdagelsen af de såkaldt brownske bevægelser (se s. 233) i 1827 havde allerede for mange bekræftet en teori om, at der i en væske var ”skjulte” entiteter, der før hid og did, og James Clerk Maxwells (1831-79) mekaniske teori om varme fra 1860'erne gav et billede af stofferne som bestående af netop små partikler, der fulgte bestemte love.

I slutningen af århundredet var der ganske mange videnskabsmænd, der var overbeviste materialister. Verden bestod af atomer, og imellem disse var der visse kræfter: tyngdekraft, elektriske og magnetiske kræfter. Når verden var så kompleks, som den var, skyldtes det, at der var foregået en udvikling, der havde konfigureret materien mere og mere, så der var opstået liv, og le-

Mendelejevs første periodiske tabel fra 1869 havde en række huller, som først kunne udfyldes senere, efter at man havde opdaget grundstofferne og målt deres egenskaber. Senere kom der mange flere grundstoffer til. Her ses Mendelejevs første grove skitse fra 17. februar 1869.

Handwritten sketch of Mendeleev's first periodic table from February 17, 1869, showing elements and their properties. The table includes elements like Hydrogen, Helium, Lithium, Beryllium, Boron, Carbon, Nitrogen, Oxygen, Fluorine, Neon, Sodium, Magnesium, Aluminum, Phosphorus, Sulfur, Chlorine, Argon, Potassium, Calcium, Titanium, Vanadium, Chromium, Manganese, Iron, Cobalt, Nickel, Copper, Zinc, Gallium, Indium, Tin, Lead, Bismuth, Gold, Silver, and Mercury. Various properties are listed next to each element, such as atomic weight (e.g., H=1, He=4, Li=7, Be=9, B=11, C=12, N=14, O=16, F=19, Ne=20, Na=23, Mg=24, Al=27, P=31, S=32, Cl=35.5, Ar=36, K=39, Ca=40, Ti=46, V=51, Cr=52, Mn=55, Fe=56, Co=57, Ni=58, Cu=63.5, Ga=69, In=75, Sn=113, Pb=120, Bi=124, Au=197, Ag=108, Hg=200, etc.). Some elements are crossed out or have question marks (e.g., H=1, He=4, Li=7, Be=9, B=11, C=12, N=14, O=16, F=19, Ne=20, Na=23, Mg=24, Al=27, P=31, S=32, Cl=35.5, Ar=36, K=39, Ca=40, Ti=46, V=51, Cr=52, Mn=55, Fe=56, Co=57, Ni=58, Cu=63.5, Ga=69, In=75, Sn=113, Pb=120, Bi=124, Au=197, Ag=108, Hg=200). There is also a note in French: "Essai d'une classification des éléments d'après leurs poids atomiques et fonctions chimiques par D. Mendeleeff".

vende organismer havde udviklet sig, så der kunne opstå mennesker og dermed samfund, der kunne drive videnskab og erkende den verden, som mennesket lever i, og den udvikling, som det er et resultat af.

Hele tiden viste der sig dog fænomener, som ikke rigtig passede ind i billede af en blot mekanisk verden. I begyndelsen af århundredet opdagede H.C. Ørsted (1777-1851) sammenhængen mellem elektricitet og magnetisme. Udforskningen af dette fænomen optog mange fysikere og resulterede i en sammenhængende teori omkring 1860, også formuleret af Maxwell. Men det var en teori, som det var vanskeligt at give en mekanisk forståelse af. Lys er elektromagnetiske svingninger, og som sådan må stjernelyset kunne rejse som svingninger igennem det tomme rum. Og dog: hvordan er det muligt for svingninger at svinge i ingenting? Eller måske er rummet slet ikke tomt? Under alle omstændigheder blev den teoretiske beskrivelse af elektricitet og magnetisme udnyttet til mange teknologiske nybrud: til udvikling af det elektriske lys og elektromotoren, og senere til radiotelegrafi, radio og telefon, dvs. alle de nye kommunikationsteknologier. Den elektromagnetiske teori havde ikke desto

## •• Maxwells ligninger

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Maxwells ligninger blev hver for sig foreslægt af videnskabsmænd som Johann Gauss (1777-1855), Michael Faraday og André-Marie Ampère (1775-1836), men det var Maxwell, som indså, at deres kombination "giver et konsistent billede af nærmest alt hvad du ønsker at vide om elektricitet og magnetisme". Blandt de mest smukke ting ved Maxwells ligninger er deres grad af abstraktion og symmetri, hvilket har givet dem en slags kultstatus blandt fysikere.

mindre i sig kimen til et opgør med den mekaniske forståelse af verden, ikke kun fordi den involverede transport af energi gennem det tomme rum i form af svingninger, men også fordi den lokaliserede energi i et "felt", et be-

greb som fysikeren Michael Faraday (1791-1867) introducerer omkring 1830. Magnetens magnetisme er ikke i magneten, men i feltet uden om den. Forsøgene på at sammentænke elektromagnetisme og en mekanisk model var vigtige, men viste sig ufrugtbare.

I løbet af 1800-tallet formes også konturerne af en mekanisk forståelse af det levende. Omkring 1830 formuleres den teori, at alt levende består af celler. Man frembringer de første organiske stoffer syntetisk – kemikeren Friedrich Wöhler (1800-82) er i stand til at syntetisere urinstof i 1828 – og det opfattes af mange som, at man nu er ved at nedbryde grænsen mellem den døde natur og den levende. Fysiologi og biokemi gør enorme fremskridt, og det bliver efterhånden accepteret at betragte liv som en kompleks kemisk proces. En sådan anskuelse kaldes materialisme. Franskmanden Claude Bernard (1813-78) formulerer i midten af århundredet den opfattelse, at biologien skal studeres med de metoder, man kender fra fysik og kemi, dvs. først og fremmest eksperimentet. Hans bog *Introduktion til studiet af den eksperimentelle medicin* fra 1865 bliver nærmest et kampschrift for en gennemgribende tro på videnskaben og dens muligheder for at løse alle problemer. Flere biologer ser dog liv som noget enestående, der ikke kan reduceres til ren kemi – især folk med en romantisk videnskabsopfattelse.

Efterhånden som positivisme og materialisme får det totale overtag i midten af århundredet, ændres situationen dog. Flere biologer hævder, at noget levende kun kan opstå af noget andet levende, og enhver celle kommer således fra andre celler. Det sker ved celledeling, og i slutningen af århundredet er der ved at være klarhed over hvordan, selvom forståelsen af arvelighed først kommer til omkring 1900. Ideen gav dog problemer i forhold til livet som sådan: hvis der er sket en udvikling fra en verden uden

liv til en verden med liv, så må livet jo på et tidspunkt være opstået af det ikke-levende. I den forbindelse er der mindst tre positioner, der har betydning i anden halvdel af 1800-tallet. Den første er en videreførelse af den romantiske videnskabs opfattelse, som siger, at det levende er noget helt for sig, og at det følger særlige lovmæssigheder, der ikke kan reduceres til fysik eller kemi. Det er vitalismen. En anden position går ud på, at alt, også det levende, må studeres med samme videnskabelige metode. Et sådant studium viser, at noget levende ikke kan opstå af noget livløst.

Den franske biolog Louis Pasteur (1822-95) er den store fortaler for dette synspunkt. Man kan kalde det en positivistisk position, fordi den ikke tager stilling til de store metafysiske spørgsmål eller forsøger at skabe en samlet verdensforståelse. Holdningen er, at hvis problemer kan løses rationelt, kan de løses videnskabeligt, og det sker ved brug af videnskabens metoder – og hvad der ligger derudover, er et område for tro, dvs. noget, man som videnskabsmand ikke kan udtales sig om. Endelig er der en rent materialistisk position, der dermed også er en metafysisk position, som siger, at det levende er en kompleks form for organisation af materien, som er fremkommet på et tidspunkt, og som udvikler sig hele tiden.

Studiet af biologiske fænomener, og især fokuseringen på variationerne i livets udvikling, fører til nye behov for beskrivelse af naturfænomener. Det er ikke længere nok at beskrive ved hjælp af klassifikationssystemer, som f.eks. botanikeren gør, eller at fremlægge naturlove i matematisk form, hvor tilknytningen til naturen sker via usikre målinger. Nu må fænomenerne studeres ved hjælp af sandsynligheder – dvs. man må beskrive statistisk i stedet for mekanisk. Inden for flere områder af videnskaben finder en sådan udvikling sted, sådan at man bliver opmærksom på, at ikke kun kausale sammenhænge er virksomme i naturen. Ved slutningen af 1800-tallet opdages fænomener, som er essentielt *tilfeldige*, eller som kun kan beskrives kausalt, hvis man har en viden, som intet menneske kunne have, som f.eks. viden om alle molekylers position og bevægelsestilstand. Især inden for termodynamik og biologi bliver statistiske beskrivelser nødvendige. Det kunne se ud, som om naturen ikke kun er beskrivbar med lovmæssigheder af kausal art, såsom: hvis A sker, så sker B nødvendigvis, eller hvis B er observeret, så må A nødvendigvis være gået forud – men snarere af formen: hvis A sker, så er der en vis sandsynlighed for, at B sker, og hvis B er observeret, så er der en vis sand- synlighed – men absolut ikke nogen sikkerhed – for, at A er sket forud. Et in-

teressant biologisk felt, hvor sandsynlighed syntes at spille en essentiel rolle, var arvelighed. Der var intet, der sagde, at hvis to intelligente forældre fik børn, så ville børnene også være intelligente, men der var bestemt en vis sandsynlighed for det; ligesom to mindre intelligente mennesker godt kunne få meget intelligente børn. Den engelske biolog Francis Galton (1822-1911) studerede netop sådanne sammenhænge og udviklede statistiske beskrivelsesværktøjer. Senere får statistiske beskrivelser en endnu mere central betydning i forståelsen af naturen.

## **Victorianisme og positivisme i videnskab og teknologi**

I 1600- og 1700-tallet var der ikke de store forskelle på filosoffer og videnskabsmænd. De enkelte discipliner var ikke adskilt og blev ikke forstået, som vi forstår dem i dag. Der var heller ikke den store forskel på en matematiker og en fysiker, og mange var begge dele. Efterhånden ændrer dette sig dog drastisk. Flere og flere tekniske områder baserer sig på videnskabelige teorier. Typisk gælder det den nye kemiske industri og det elektromagnetiske område, og det gælder termodynamikken, der opstår i forsøget på at forstå dampmaskinen som en energimaskine. Også inden for det biologiske felt sker der voldsomme ændringer. Forståelsen af basale biologiske processer ændres og kan nu beskrives med f.eks. kemiske begreber. Gæring, forrådnelse osv. er naturprocesser, der kan forklares med fysiske og kemiske teorier, og ellers udvikles særlige biologiske teorier, der gør, at man kan forudsige og kontrollere disse processer. Det samme gælder de særlige biologiske processer, der har med sygdomme at gøre. Mekaniske fænomener, såsom broer og lokomotiver, spiller en stadigt større rolle i samfundet, og de skal beskrives og forstås. I og med at det er virkeligheden, der skal forstås, baserer man sig på observationer og målingsresultater – og disse bearbejdes så med matematiske ligninger, formler og statistikker. Fysik, kemi, fysiologi, medicin, alt bliver matematiseret.

Samtidig ændres forståelsen af, hvad matematik egentlig er for noget. Er matematisk fysik f.eks. matematik eller fysik? Når videnskaben ikke længere er apriori, men snarere helt og holdent baseret på observation og empiri, så ændres også forståelsen af forholdet imellem matematik og de empiriske videnskaber, og der sker især en anvendelse af matematikken i fysikken. Dette skal retfærdiggøres af observation, dvs. man må påvise, at en bestemt mate-

matisk formulering af en teori også stemmer overens med virkeligheden. At der er tale om korrekt matematik, har ikke længere i sig selv nogen empirisk mening, fordi matematikken ikke er nogen empirisk, men en formel viden-skab. Samtidig sker der jo en anvendelse af den matematisk formulerede fy-sik til løsning af f.eks. ingeniøroppgaver, eller af biologiske teorier til løsning af praktiske problemer.

Dermed opstår en art tredeling af videnskaberne. Der er de rent for-melle videnskaber, først og fremmest matematikken, der ikke beskæftiger sig med noget empirisk. Så er der grundvidenskaberne: fysik, kemi, biologi osv., der beskæftiger sig med, hvordan naturen og virkeligheden er indrettet. Via denne indsigt er det muligt at løse praktiske problemer, såsom at bygge broer og brygge øl ordentligt – hvilket er, hvad de anvendte videnskaber be-skæftiger sig med, f.eks. i form af lægevidenskab, landbrugsvidenskab og in-geniørvidenskab, der alle rummer stor teknisk og praktisk interesse. Ifølge denne model skal løsning af praktiske problemer ske gennem større og stör-re forståelse af de underliggende teoretiske problemer – praksis og grund-forskning går hånd i hånd.

Hvis positivisme forstås som en påstand om, at vi kun kan sige noget sandt, for så vidt vi har positivt belæg for det fra videnskaben, så er radikal empirisme og positivisme sammenfaldende synspunkter. En god eksponent for en sådan opfattelse er den engelske filosof John Stuart Mill. For posi-tivisten er enhver påstand om, at videnskaben nu har vist, at verden ikke er andet end materielle partikler, der bevæger sig efter mekaniske love, ikke videnskabelig, men netop metafysisk – fordi det er en *fortolkning* af de empirisk konstaterbare fakta. Videnskaben kan ikke forholde sig til Guds eksistens, til eksistensen af atomer, til livets mening eller til livets væsen. Det er alt sammen noget, der kan menes noget om, og hvor videnskabelige resultater kan spille en rolle for hvilken overbevisning, man har. Men der er ikke nogle videnskabelige entydige beviser, der peger den ene eller den anden vej, og for positivisten er den ene opfattelse således lige så metafysisk som den anden. Der er altså grænser for, hvad videnskaben kan udtale sig om. Når den udtaler sig om årsagsforhold, så er det via bestemte mønstre i observerede forhold. Mill fremlagde f.eks. en række metoder til at afgøre, om der var tale om årsags-virkningsforhold mellem bestemte fænomener.

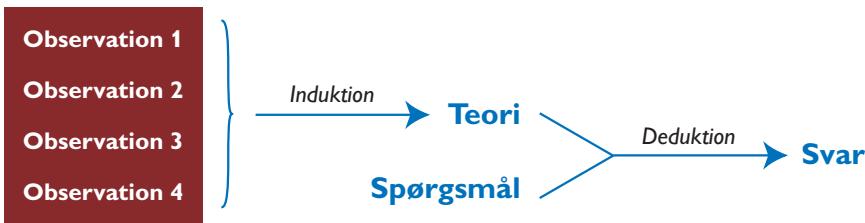
Positivismens konsekvente anti-metafysik betød dog ikke, at der ik-ke blev fremsat metafysiske teorier på baggrund af videnskabens resultater.

Den vigtigste var her en såkaldt monistisk materialisme, dvs. et synspunkt, der gik ud på, at verden var af ren materiel karakter, at der udelukkende fandtes materien og de kræfter, der virkede i den.

Der var dog også teorier, der lagde mere vægt på det monistiske end på det materialistiske. En naturforsker som f.eks. Ernst Haeckel (1834-1919), hvis bog om *Verdensgåderne* fra 1899 opsummerede en metafysisk forståelse af biologien og darwinismen, var således ikke materialist, men netop monist – dvs. at han hævdede, at der i verden kun var én form for substans. Samtidig troede han fuldt og fast på, at videnskaben kunne løse alle problemer og dermed blive en erstatning for religionen. Dette var helt i modstrid med positivismen, der netop kun anerkendte det, der havde belæg i observerede kendsgerninger. Op til midten af 1800-tallet var det muligt at hævde, at filosofien som en metafysisk erkendelsesform havde den højeste status inden for vores erkendelse af verden. Men efterhånden som videnskabens status øgedes, og der blev skabt en verden præget af teknologi og tro på videnskabens muligheder for at sikre fremskridtet, blev filosofiens status ændret. Man begyndte snarere at hælde til, at kun videnskaben kunne give sikker viden om verden. Men til et sådant synspunkt må man nødvendigvis indvende, at det ikke er klart, hvad det egentlig er for en type viden, som videnskaben kan give os.

De metoder, som videnskaben har til rådighed, er først og fremmest observation og eksperiment. Det helt afgørende ved begge disse er, at de skal foregå på en måde, så andre kan gøre tilsvarende erfaringer observationelt eller eksperimentelt – dvs. de skal kunne gentages. Videnskaben går så frem dels ved at generalisere ud fra tidlige erfaringer – det kaldes induktion eller syntese. Og dels ved ud fra hypoteser at drage konklusioner, der søges holdt op imod erfaringen – det kaldes deduktion eller analyse. Udgangspunktet for erkendelse er i sidste ende altid observation og eksperiment, og enhver påstand, der fremsættes som videnskabelig, skal kunne stå for eksperimentel afprøvning, ellers er der ikke tale om videnskab. Videnskabsmanden er en art detektiv, der søger efter sandheden, og som hele tiden må søge efter den bedst mulige forklaring, og i dette alene lade sig lede af, hvad det er muligt at observere. Som sådan kan Conan Doyles (1859-1930) Sherlock Holmes-figur stå som et godt eksempel på forståelsen af videnskaben i victorianismen.

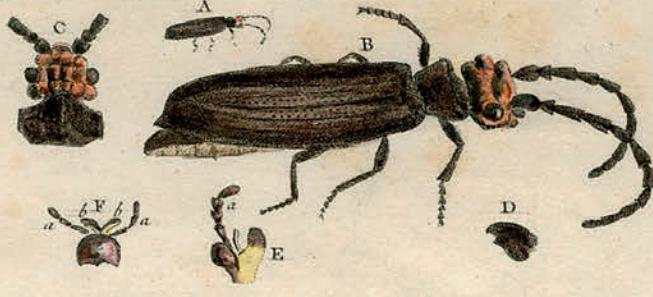
I forlængelse af det nye syn på videnskaben var der mange i slutningen af det 19. århundrede, der ikke længere troede på politiske eller sociale løs-



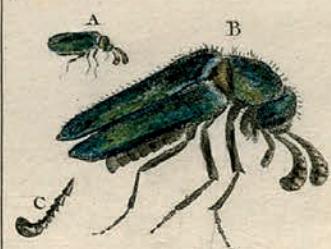
Induktion er den proces, hvor man ud fra eksempler og observationer udleder generelle principper – dvs. går fra det partikulære til det almene. Deduktion er den proces, hvor man ud fra givne premisser råsonerer og evaluerer sig frem til et svar – dvs. går fra det almene til det partikulære. De fleste erkendelser opnås ved et samspil mellem disse metoder.

ninger på sociale problemer. Man mente, at den orden, der fandtes i verden, var en naturlig orden. Derfor skulle problemer løses med indgreb i naturen via teknologi. Lægevidenskab, hygiejne, racepleje – i form af en videnskabsbaseret teknologi kaldet eugenik – var bud på sådanne løsninger. Fattigdom, forbrydelse og andre afgivelser blev forstået som naturlige fænomener, der så kunne forebygges eller ændres ved indgreb i naturen, indgreb der netop baseredes på indsigt i naturen, dvs. naturvidenskab. Denne opfattelse af det naturlige betød også, at *alt* kunne studeres. Videnskaben skulle ikke være underlagt bestemte værdiopfattelser eller religiøse anskuelser, og man begyndte at studere fænomener, der tidligere havde været tabu af moralske eller religiøse årsager. Seksualiteten og dens afgivelser, fremmede folkeslag, andre religioner – principielt alt menneskeligt – kunne studeres af den fordomsfri forsker, idet alt i sidste ende var naturligt.

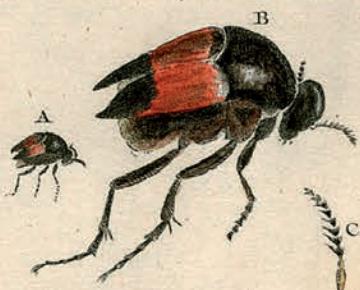
Fig. 1.

*Ciper capitata. F.*

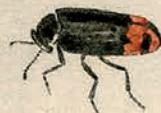
2

*Cerocoma Vahlii. F.*

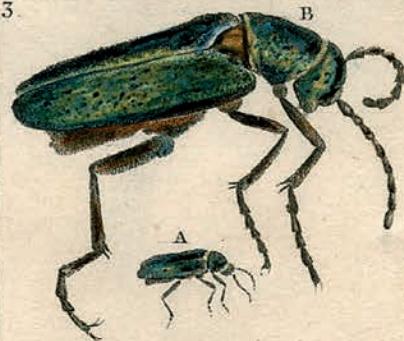
6

*Ripiphorus donidaius. F.*

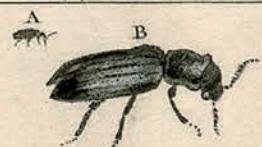
4

*Mylabris praestata. F.*

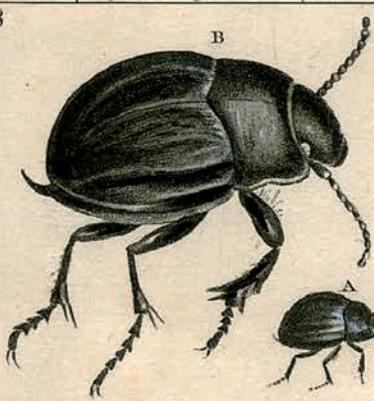
3

*Lytta Segetum. F.*

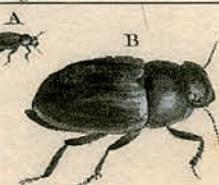
7

*Opatrum granulatum. F.*

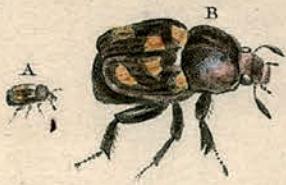
8

*Erodius gibbus. F.*

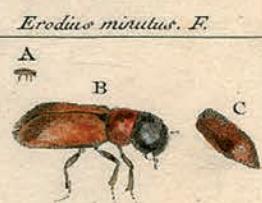
9

*Erodius minutus. F.*

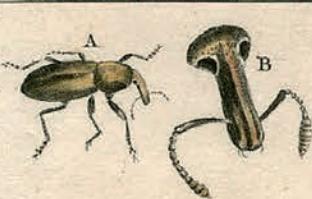
10

*Melolontha pygmaea. F.*

11

*Bostrichus microgaster. F.*

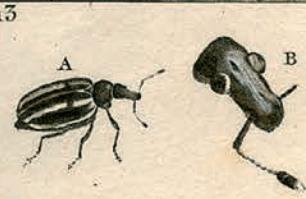
12

*Rhynchosciurus ocularis. F.*

14

*Diaperis kydni. F.*

13

*Curculio bivittatus. F.*

Maleuvre fil. sculp.

# 5

# Etableringen af de videnskabelige discipliner

I løbet af 1800-tallet etableres langsomt et videnskabeligt system, og der etableres en lang række teorier og begreber, som vi stadig bruger og anser for fundamentale. Naturfilosofi og naturlære bliver til en lang række videnskabelige discipliner, der har egne videnskabelige selskaber, egne lærestole og egne uddannelser. Astronomi, fysik, kemi, geologi, geografi, biologi, biokemi m.v. etableres som egne discipliner med egne tilgange og teorier. Mange universiteter etablerer selvstændige naturvidenskabelige fakulteter, og imod slutningen af 1800-tallet er naturvidenskaben sammen med en naturvidenskabeligt funderet lægevidenskab et meget væsentligt element i forskning og højere uddannelse. Denne etablering sker på baggrund af, at man inden for en lang række områder får etableret teoridannelser, der både giver mulighed for forklaring af hidtil uforståede fænomener og mulighed for teknologisk anvendelse.

I dette kapitel vil vi se på dannelsen af en række centrale begreber og teorier inden for fysik, kemi, biologi, medicin, psykologi og matematik. Til slut vil vi se på, hvordan der langsomt udvikler sig en begyndende diskussion

af forholdet mellem empirisk videnskab og filosofisk refleksion og på, hvordan man forsøger at give forskrifter for videnskabeligt arbejde og definere “den videnskabelige metode”.

◀ Den franske biolog Antoine Jean Cocquebert de Montbret (1753-1825) udgav fra 1799 til 1804 et rigt illustreret værk om insekter, med den mundrette titel *Illustratio iconographica insectorum quae in museis parisiniis observavit et in lucem edidit Job. Christ. Fabricius, praemissis ejusdem descriptionibus; accedunt species plurimae, vel minus aut nondum cognitae*. Han tilstræbte den fuldstændig nøjagtige kategorisering og gengivelse af det enkelte insekt. En lignende bestrebelse kan på mange måder siges at kendetegne 1800-tallets opfattelse af videnskaben og dens enkelte discipliner.

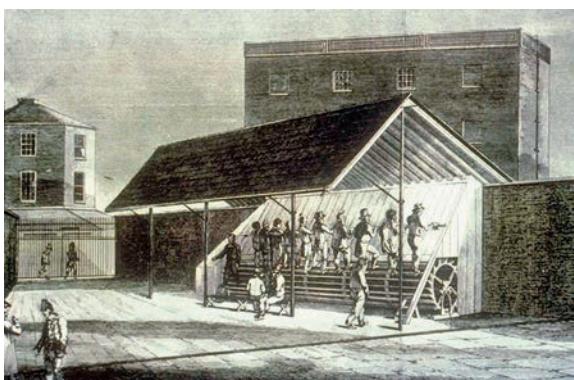
## Den levende kraft – energi og varme

Hvad vil det sige, at noget har energi, og hvordan opstod begrebet? Og hvad er sammenhængen mellem energi og varme? Forståelsen af dette hang i 1800-tallet tæt sammen med den teknologiske udvikling af varme-maskiner, først og fremmest dampmaskinen og den tilhørende industrielle revolution. Dampmaskiner ændrede produktionsforholdene og skabte mulighed for jernbaner og regelmæssig skibstrafik.

Varme har vi altid kendt til som noget vigtigt for at overleve og for at lave mad. Ur-oplevelsen af varme stammer fra ild og fra vores egen og dyrernes kropsvarme. Med dampmaskinen fik man for første gang en maskine, der kunne omdanne varme til arbejde. Tidligere havde man udelukkende baseret kraftmaskiner på menneskers, dyrs, luftens eller vandets tryk – f.eks. vind- og vandmøller.

I adskillige år efter dampmaskinens fremkomst mente man, at varme var et særligt stof, der havde egenskaber som en flydende masse, f.eks. som vand. Teorien skyldtes bl.a. kemikeren Antoine Laurent de Lavoisier (1743-94) og ikke mindst Sadi Carnot (1796-1832), der fremlagde den første egentlige forståelsesmodel for varmemaskiner, selvom han nok selv begyndte at tvivle på dens korrekthed på sine ældre dage.

De mekaniske processer mente man at kunne forstå ud fra en række bevarelseslove. Carnot tænkte i analogi med vand, der falder og derved kan drive vandhjul og udføre arbejde. Men hvad skete der egentlig, når noget faldt? Og hvor kom bevægelsen fra, når man via afbrænding af kul i en dampmaskine kunne fremkalde bevægelse? Pierre Simon Laplace (1749-1827) havde omkring 1800 genformuleret den teori, at alting i virkeligheden bestod af



Som en ny og fremskridtsorienteret form for straf indførte man i begyndelsen af 1800-tallet trædemøllen i engelske og skotske fængsler. På denne trædemølle fra Brixton-fængslet i London skulle de indsatte arbejde 10 minutter ad gangen med 5 minutters pause. I nogle tilfælde drev trædemøllen en mølle, men som oftest blev det udførte arbejde ikke brugt til noget som helst. Guildhall Library, London.

en række mindre dele, af partikler, der interagerede på den måde, at de enten kunne tiltrække eller frastøde hinanden. Tyngdekraften var et eksempel på tiltrækning, og elektriske og magnetiske fænomener gav anledning til frastødning. Man kunne også give love for disse fænomener. Samtidig formuleredes en generel kemisk teori om atomer, ifølge hvilken stofferne var sammensat af atomer, og at de forskellige stoffer havde forskellige egenskaber. Derfor kunne man sige, at et givet grundstof – dvs. et stof, der ikke kemisk kunne nedbrydes til noget andet – havde en bestemt atomvægt. Måling på kemiske reaktioner viste, at det var meningsfuldt at antage dette, samt at de forskellige grundstoffer i deres kemiske forbindelser indgik i simple talforhold. Mange kemikere og fysikere var således overbeviste om atomteorien og om, at alle fysiske og kemiske fænomener grundlæggende kunne forklares ud fra rent mekaniske interaktioner mellem disse elementarpartikler.

I kemien gav atomteorien mening og orden. I fysikken blev den anset for mere spekulativ, og med hensyn til forståelsen af varme var den problematisk. Hvis varme var et stof med væskeegenskaber, så måtte det jo bestå af atomer og burde således kunne indgå i kemiske forbindelser og reaktioner. Men kunne man sige, at der fandt en kemisk reaktion sted, når man ved at øge trykket i en beholder også øgede temperaturen? Og hvor blev varmen egentlig af?

I 1840’erne begyndte en alternativ forståelse at brede sig – nemlig at varme slet ikke var et stof, men en mekanisk egenskab ved alt stof, knyttet til atomer og molekyler. Varme var simpelthen bevægelse på partikelniveau. Når varme kunne blive til arbejde, så var det fordi, varme i virkeligheden var en mekanisk egenskab i sig selv. Det var således ikke særligt hensigtsmæssigt at tænke om varmeprocesser som analoge med fald af vand eller tilsvarende. Man måtte snarere tænke om det som en ændring af stoffets tilstand fra én tilstand til en anden. Man kunne jo også ved arbejde producere varme, det havde allerede Graf von Rumford (1753-1814) vist. Hvis det hang sådan sammen, så var det rimeligt at antage, at varme var en egenskab, der bevaredes, ligesom bevægelsesmængden gjorde. Arbejdet blev til varme, og varme kunne blive til arbejde. Måske var der endda en simpel sammenhæng imellem disse fænomener. Flere forskere fremsatte derfor tesen om det, vi nu kalder energiens konstans.

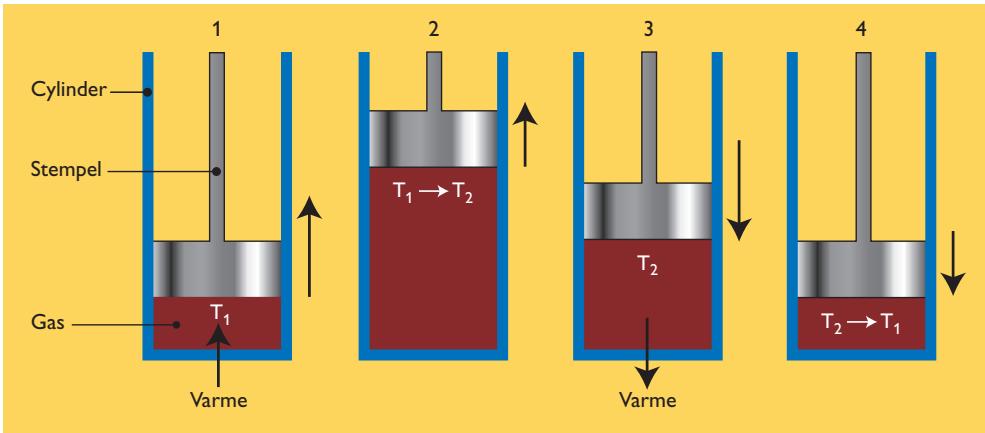
Evnen til at udføre arbejde blev længe i fysikken kaldt “den levende kraft” med en interessant biologisk metafor, og energibegrebet som en til-

standsfunktion ved ethvert fysisk system fremkom først senere. Ideen om bevarelsen af “den levende kraft” måtte betyde, at der måtte være et bestemt forhold mellem varme og arbejde. Varme blev målt i kalorier og var knyttet til en mængde af et stof og dets temperatur. En bestemt varmemængde kunne altså f.eks angives som den mængde varme, der skulle til at opvarme en liter vand fra f.eks. 20 til 30 grader celsius. Arbejde blev målt på en helt anden måde, f.eks. som det, der skulle til for at løfte et lod på 100 kg en meter op i luften. Der var mange eksempler på, at varme kunne udføre arbejde, men ifølge bevarelseshypotesen skulle arbejde også kunne frembringe varme. Faktisk skulle en genstand, der faldt et vist stykke vej, stige i temperatur, og vandet i et vandfald skulle således være varmere ved faldets fod end dets top. Og det viste sig da også at være tilfældet. Ved en række eksperimenter fandt flere forskere frem til, at der var et konstant forhold imellem arbejde og varme, og dette forhold blev kaldt varmens mekaniske økvivalent. Man kunne altså oversætte mellem målinger af varme, f.eks. i kalorier, og målinger af arbejde, f.eks. i hestekraft eller watt.

Carnot havde hævdet, at en varmemaskines effektivitet alene afhæng af de temperaturforskelle, man arbejdede med – jo større, jo bedre. Dette var helt afgørende for de principper, der blev konstrueret varmemaskiner ud fra, hvad enten det var dampmaskiner eller senere typer forbrændingsmotorer.

Efter 1850 begyndte flere og flere at tilslutte sig opfattelsen af, at varme ikke var en substans, men udtryk for mekaniske egenskaber ved materielle systemer, først og fremmest bevægelse. Et materielt system havde altså alene i kraft af sin tilstand en egenskab, der gjorde, at det på forskellig vis kunne bringes til at udføre arbejde. Og det var, hvad enten systemet udnyttedes kemisk (f.eks. ved kulafbrænding), elektrisk, magnetisk eller blot via系统的 rent mekaniske egenskaber. Denne egenskab kaldtes energi. Man havde dermed formuleret en tese om, at disse forskellige egenskaber kunne omformes til at udføre arbejde. Men denne omformning var ikke fri eller vilkårlig, ligesom der heller aldrig kunne opstå eller forgå energi. Kun ved at tilføre arbejde, kunne man hæve temperaturen i et system.

Man arbejdede dog stadig med tanken om den reversible varmemekaniske proces og begyndte at undersøge, om sådanne processer kunne virkeliggøres andre steder end på papiret. Man fandt frem til, at det ikke var tilfældet. Når det kom til stykket, var alle energiprocesser energikrævende, fordi der under forløbet “slap energi væk”. Energien forsvandt i form af

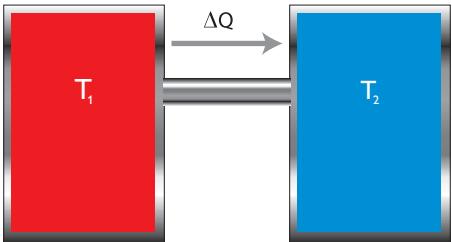


varme, f.eks. friktionsvarme eller reaktionsvarme, kaldet "entropi". Med andre ord fandt man ud af, at alle fysiske processer foregik sådan, at der var mere entropi efter end før, de var foregået. Det er termodynamikkens anden hovedsætning, ifølge hvilken alle processer tenderer imod afgivelse af varme, og at varme ikke fuldstændigt kan omdannes til andre former for energi, andet end netop entropi. Det betyder f.eks. også, at evighedsmaskiner ikke kan konstrueres, fordi alle fysiske systemer taber varme, når de udfører arbejde – de er med andre ord irreversible.

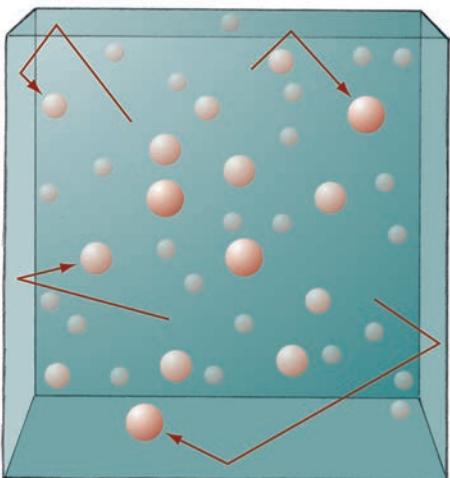
Det skulle senere vise sig, at dette faktisk kun gælder for isolerede systemer, men i sidste halvdel af 1800-tallet tillagde man termodynamikkens anden lov en meget fundamental rolle for al fysik. Den tyske fysiker Rudolf Clausius (1822-88) formulerede det sådan, at universets entropi kun kan vokse, og han begyndte at tale om "varmedøden", hvorved alt levende og alt, hvad der møjsommelig var blevet opbygget af menneskehånd, igen ville forfalde og med usvigelig sikkerhed blive til stov.

Fysikeren James Clerk Maxwell (1831-79) fremlagde i løbet af 1860'erne den teori, at termodynamiske processer var resultatet af bevægelser i molekylerne. På basis af denne hypotese var det ud fra målinger og eksperimenter nu muligt at sige noget om både antal, størrelse og hastighed af de atomer eller molekyler, som materien ifølge atomteorien skulle bestå af. Man kom

Carnots reversibele eller ideelle varmemaskine kan (teorien) uden tab omdanne arbejde til varme og varme tilbage til arbejde igen. I en idealiseret opstilling foregår det ved, at (1) ydre varme optages af gassen ved en konstant temperatur  $T_1$ , hvilket forårsager mekanisk arbejde ved, at et stempel presses op, hvorefter (2) ekspansionen fortsætter, indtil gassens temperatur er faldet til  $T_2$ , hvorefter (3) stemplet igen trykkes ned og varme tabes ved konstant temperatur. Til sidst (4) presses gassen uden varmetab igen sammen til sit udgangspunkt  $T_1$ . Bemærk, at varme i denne forståelse ikke er det samme som temperatur. Carnot mente, at varme var et bestemt stof, som bevirke en ændring af et objekts interne tilstand.



Termodynamikkens anden lov siger, at entropien i et isoleret system, som f.eks. de to forbundne kar i billede, vil øges, indtil systemet har opnået en ligevægt. Mere præcist er entropitilvæksten  $\Delta S$  lig med varmeændringen  $\Delta Q$  divideret med temperaturen  $T$ . Hvis en proces er irreversibel, som stort set alle fysiske processer er det i virkeligheden, vil den kombinerede entropi for systemet og omgivelserne stige. Dette fik fysikeren Rudolf Clausius til at proklamere, at hele universet går imod "varmedøden" (se også s. 260).



Maxwells kinetiske teori giver en atomistisk forklaring på termodynamiske størrelser som tryk og temperatur. Den går ud fra, at molekyler i en gas bevæger sig tilfældigt rundt med forskellig fart, og at den gennemsnitlige hastighed derfor er et udtryk for gassens temperatur. Når et molekyle rammer en væg, vil det udøve en lille kraft. Summen af alle disse vil være et udtryk for gassens tryk. Maxwells teori fik stor betydning for Einsteins senere arbejde med de browniske bevægelser (se s. 233).

frem til, at atomer eller molekyler måtte være små sfæriske kugler med en diameter af størrelsesordenen  $10^{-8}$  cm, og at de bevægede sig med hastigheder omkring 2000 kilometer i sekundet – dog kom de ikke så langt, da de hele tiden stødte ind i hinanden.

Resultaterne af studierne af varme og fremkomsten af en mekanisk teori om energiprocesser var mange og betydningsfulde. For det første medførte de et utal af nye teknologier, f.eks. forbrændingsmotoren, der blev forudsætningen for biler og fly, men også for køleteknologien, der igen blev forudsætningen for en revolution inden for transport, idet fordærvelige fødevarer nu kunne transporteret over lange afstande. Dampmaskinen i form af damplokomotiver havde allerede gjort sit til at ændre landkortene og økonomien. Med energibegrebet fik man også for første gang en samlet og generel beskrivelse af vidt forskellige fysiske fænomener, og indsigten i sammenhængen mellem de forskellige energiformer og i energiens konstans har været betegnet som den største fysiske indsigt opnået i 1800-tallet.

Der var dog stadig en lang række problemer med at forstå fysiske fænomener som værende mekaniske. Godt nok kunne fysikerne nu meningsfuldt tilslutte sig kemikernes atomteori, hvor varme i sidste instans var identisk med atomernes bevægelse. Men fordi atomerne var så små, så mange og bevægede sig med

så høje hastigheder, opførte de sig alligevel ret mærkeligt, og de lovmæssigheder, man fandt frem til, kunne kun formuleres i statistiske begreber. Man kunne måle på en luftart indesluttet i en beholder – den havde en temperatur, et tryk, en masse osv. – men målingerne var behæftede med usikkerheder, hvorfor man reelt kun kunne sige, at med en så og så stor sandsynlighed befandt luftartens temperatur sig i det og det temperaturinterval. Jo bedre målinger, des mindre intervaller og des højere sandsynligheder. Men når man udtalte sig om luftarten set som en ansamling af atomer, så kunne man reelt ikke sige andet, end at der var en så og så stor sandsynlighed for, at så og så mange af atomerne havde en hastighed i den og den størrelsesorden. I forhold til den dominerende deterministiske forståelse af naturen, efter hvilken man burde kunne forudsige mekaniske systemers opførsel ned til mindste detalje, var det problematisk. Man kunne nemlig ikke fortælle noget om de enkelte atomer, men måtte nøjes med at give en beskrivelse af en generel ”tilstand” i denne enorme mængde af atomer. De mekaniske systemer havde altså sandsynlighedsegenskaber og var derfor underlagt en vis usikkerhed og tilfældighed.

Den amerikanske fysiker Josiah Willard Gibbs (1839-1903) og den østrigske fysiker Ludwig Boltzmann (1844-1906) antog, at det var meningsfuldt at tillægge et system netop den slags statistiske egenskaber. Boltzmann fortolkede i 1877 den mængde af energi, som et system ikke kan bruge til at udføre arbejde med, dvs. entropien, til at være et mål for antallet af mulige atomare mikrotilstande, der ikke ville påvirke den makroskopiske tilstand. Det betød også, at entropien var et mål for uorden i systemet, fordi meget ”ordnede” systemer har tendens til at have meget få konfigurationsmuligheder, mens ”uordnede” systemer har mange. Man kan sammenligne situationen med en håndfuld mønter, der kastes. Hvis alle mønter lander på krone, vil det være en meget ordnet og meget usandsynlig tilstand. Men hvis ca. 50 procent lander på krone, hvilket er det mest sandsynlige, vil det se ud som en meget uordnet tilstand. Når mekaniske processer altid resulterede i en entropiforørgelse, var det fordi, de altid bevægede sig imod en mere sandsynlig atomar konfiguration.

Disse overvejelser betød, at et fysisk system som f.eks. en luftart kunne beskrives på to niveauer. Ét niveau benyttede sig af begreber som energi, temperatur, tryk, masse, rumfang – begreber, der var knyttet til virkeligheden via måleprocesser, og som ikke forudsatte, at man havde nogen teori om,

hvor en luftart egentlig var for noget. Et andet niveau forudsatte en teori om, at en luftart bestod af mange meget små atomer, der alle var mekaniske genstande, og disses opførsel som system måtte beskrives på en helt anden måde, nemlig ved hjælp af sandsynlighed, hvor man antog, at egenskaber ved atomerne var fordelt på mange værdier. Derfor kunne man kun tale om gennemsnit og sandsynlighed for, at et bestemt atom befandt sig i en bestemt tilstand, men man kunne aldrig kunne sige noget om denne tilstand, som den faktisk var.

Man kunne således forklare de makroskopiske egenskaber ud fra de mikroskopiske, og det var en enorm sejr for teorien, men samtidig mistede man den præcise og deterministiske beskrivelsesmåde, idet man måtte introducere forestillingen om, at et system havde "objektive" sandsynlighedsegenskaber. Sandsynlighed var altså ikke her noget, der var knyttet til en observation eller målings unøjagtighed, men til selve det observerede system. Det skulle vise sig utrolig vigtigt i den senere idehistorie og i fysikkens udvikling, hvor sandsynlighed i 1900-tallet kom til at spille en helt afgørende rolle.

## Lad der blive lys

Ligesom energibegrebet er helt centralt i dag, er fænomener knyttet til elektricitet, magnetisme og til elektromagnetiske svingninger det. Vi omgiver os med et uts af elektriske og elektroniske redskaber og instrumenter, og uden telefon, tv og computer er et højteknologisk samfund umuligt. Energifænomener har mennesket altid forholdt sig aktivt til. Det er stort set umuligt at overleve uden brug af ild eller isolering fra kulde eller varme. Der må varmes op, koges og steges, og man må have tøj på kroppen og mad på bordet. Elektriske og magnetiske fænomener er det derimod sværere at forholde sig aktivt til. Uden at vide det er man selvfølgelig afhængig af lyset, som siden ca. 1870 er blevet opfattet som elektromagnetiske svingninger, og selvfølgelig er det også sådan, at mange af de genstande, vi omgiver os med, rummer elektriske kræfter. Men det er ret sent i menneskets historie, at man eksplisit begynder at udnytte naturens elektriske og magnetiske kræfter.

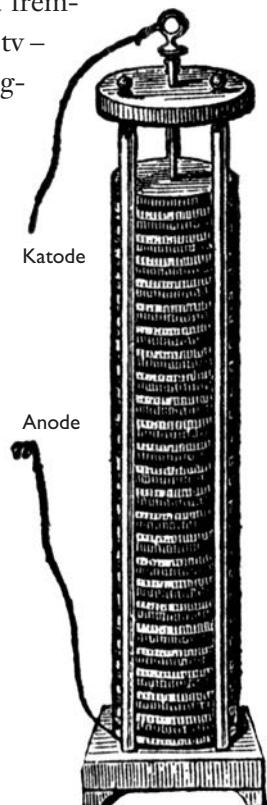
Første eksempel er magneten. I slutningen af 1700-tallet er elektriske fænomener på mode. Amerikaneren Benjamin Franklin (1706-90) udforsker lyn og opdager, at det er elektriske udladninger. Det lykkes italieneren Alessandro Volta (1745-1827) at fremstille den første stabile kilde til elektrisk

strøm, Voltasøjlen, der er verdens første batteri. Derefter kunne udforskningen af elektriske fænomener tage fart. I 1820 opdager Hans Christian Ørsted (1777-1851) sammenspillet mellem elektrisk strøm og magnetiske udslag, og nogle år senere opdager englænderen Michael Faraday (1791-1867) den modsatte sammenhæng mellem aktivering af en magnet og generering af en elektrisk strøm, dvs. induktion. Det er baggrunden for frembringelsen af elektrisk strøm ved bevægelse af magnetter, hvilket er principippet i en dynamo.

Strøm kunne frembringes ved kemiske midler – batterier – eller ved mekanisk arbejde og magnetter – dynamoer. Men påvirkningen mellem ledning og magnet var ikke direkte. Faraday introducerede begrebet ”felt” til at udtrykke det forhold, at den virksomme del af en magnet befandt sig uden om magneten, og at den del af strømmen i en ledning, der kunne påvirke en magnet, på samme måde befandt sig uden om ledningen. En mængde teoretikere arbejdede med at formulere de opdagelser og målinger, der blev gjort om elektricitet og magnetisme, og det kulminerede i en samlet teori, fremlagt af Maxwell i 1867. Den forudsagde dels muligheden for at frembringe elektromagnetiske svingninger – og dermed radio og tv – og dels fremsatte den en hypotese om, at lyset var elektromagnetiske svingninger.

Der er således stor succes med teorierne om elektriske og magnetiske fænomener. Men de giver alligevel problemer, når det drejer sig om forståelsen af naturen. For hvis man antager, at naturen består af små kugleformede atomer i et tomt rum, hvor der virker særlige kræfter, bliver det svært at redegøre for de elektriske eller magnetiske fænomener. Tyngdekraften havde været den bedste model for en ”kraft” med et ”felt”, idet den påvirker masser i rummet efter en kendt lov. Den virker, som gik den i en lige linje mellem massernes tyngdepunkter, og den kan beskrives som en art felt – et felt forstået på den måde, at der i rummet omkring Jorden er et sådant forhold, at en masse anbragt på et givet punkt vil få en bestemt vægt, og lige meget hvad der

Voltasøjlen er det første elektriske batteri i verden. Den består af tre lag, der gentages mange gange: en plade af kobber, en plade af zink og et mellemlægslag (kaldet en elektrolyt) bestående af pap vædtet i saltsyre. Elektroner i metallerne vil så kunne transporteres gennem søjlen og generere strøm.



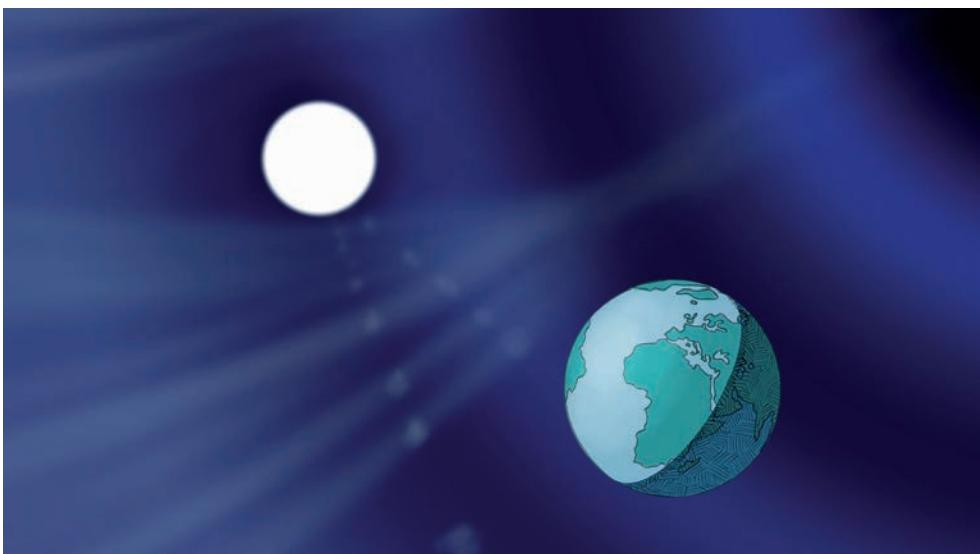
er imellem en sådan genstand og Jorden, vil der være den samme påvirkning. Der er altså tale om påvirkning over afstand.

Anderledes er det med magnetiske og elektriske påvirkninger. De ligner på visse måder: elektrisk tiltrækning kan accelerere et legeme. Men elektrisk tiltrækning kan isoleres, og påvirkningen opstår i en lang række tilfælde som resultat af dynamiske forandringer, f.eks. at en magnet flyttes i relation til en strømførende ledning.

Faraday var den første, der tillagde ”feltet” reel eksistens, og ikke kun så det som en praktisk beregningsmæssig størrelse. ”Feltet” var for ham et fysisk fænomen, som fandtes *i rummet* mellem objekter. Faraday kaldte disse fysiske fænomener for kraftlinjer, og via dem skete der en direkte påvirkning mellem de magnetiske og elektriske legemer. Dette førte til en opfattelse af, at felter var virkelige størrelser – enkelte forskere mente endda, at felter var det eneste virkelige. Fysikere som Lord Kelvin (1824-1907), Maxwell og tyskeren Hermann von Helmholtz (1821-94) fremsatte teorier om, at felter i virkeligheden var en art mekanisk fænomen, således at de elektriske og magnetiske fænomener, herunder de elektromagnetiske svingninger, var mekaniske fænomener i en bestemt substans kaldet ”æteren”. For at få en sådan teori til at stemme overens med de observerede fænomener, måtte æteren have en række meget interessante mekaniske egenskaber, som det var svært at redegøre for. Men at der kunne overføres energi mellem legemer, var klart nok, og at det kunne ske via stråling – f.eks. varmestråling eller lysstråling – var også indlysende. Ligegyldigt hvad, så måtte der altså eksistere et medium, som energien flyttede sig gennem.

Allerede i århundredets begyndelse havde engländeren Thomas Young (1773-1829) genoplivet den gamle teori om lyset som et bølgefænomen. Det var sket på baggrund af en række eksperimenter med interferens, som var svære at forklare, hvis man antog, at lyset var en partikelstrøm. Maxwell havde beregnet, at elektromagnetiske svingninger, hvis de fandtes, ville udbrede sig med en hastighed identisk med den, man kendte for lyset. At det skulle være et tilfælde, var næsten for usandsynligt – det pegede snarere på, at lys var elektromagnetiske svingninger, hvilket også kunne forklare en lang række af de kendte lysfænomener.

Det var imidlertid klart for fysikerne, at man stod med to meget forskellige naturopfattelser, der begge kunne sandsynliggøres. På den ene side havde man en atomistisk og mekanisk naturopfattelse, som havde god evidens



fra kemien og fra teorien om varme som be vægelse. På den anden side havde man en teori om felter, om dynamiske fænomener, om energi som noget grundlæggende. Her blev fysiske og kemiske processer opfattet som transformationer af energi, og flere fy sikere og filosoffer formulerede direkte et “energetisk” grundsynspunkt, hvor verden udelukkende bestod af energifæ nomener. Begrebet om en æter var et forsøg på at få nogle energifænomener til at være mekaniske.

Det var således omkring 1880-90 klart, at man ikke havde en samlet na turopfattelse inden for fysik og kemi. Den mekaniske teori havde fejret sto re triumfer, men de elektriske og magnetiske fænomener passede ikke rig tig med teorien. Energisynspunktet havde med sin sammenfattende karakter leveret et alternativ, selvom det ikke var så anskueligt som den klassiske me kaniske “billardkugle”-model, hvor verden bestod af små kugleformede ato mer, der enten for rundt imellem hinanden eller opførte sig veldisciplineret i krystaller og andre faste stoffer.

At man ikke havde en tilfredsstillende teori om elektromagnetiske fæ nomener forhindrede dog ikke, at elektricitet og elektromagnetisme kunne udnyttes teknologisk, og dynamoer, elektromotorer og elektrisk lys foran drede samfundet på grundlæggende vis. Det blev et elektrisk samfund, op

Æteren blev opfundet, for at planeter kunne svømme i den, elektriske og magnetiske felter ”ses”, og for at lys kunne udbrede sig. Men en efter en blev teorierne om en æter gendrevet af bedre teorier, der ikke havde brug for en sådan substans. På billedet ses Christiaan Huygens (1629-95) og Thomas Youngs ideer om en æter, der bærer lyset igennem solsystemet. Einstein viste senere i sin relativitetsteori endegyldigt (se s. 228-230), at der ikke er brug for et sådant koncept.

lyst af elektrisk lys og præget af elektromotorer og andre elektriske og elektromagnetiske fænomener. I slutningen af århundredet samvirkede elektromagnetismen og energiteorierne helt konkret i frembringelsen af den moderne bil, der jo er en kemisk baseret varmemaskine – forbrændingsmotor – der muliggøres via en avanceret brug af elektromagnetiske fænomener i tændingssystemet. For at frembringe brændstof måtte man yderligere benytte en avanceret kemisk teknologi, baseret på de store fremskridt i forståelsen af de organiske stoffers kemi.

Kommunikationsteknologierne ændredes også radikalt. Elektromagnetismen muliggjorde telefonen, og med frembringelsen af elektromagnetiske svingninger – som lykkedes for Heinrich Hertz (1857-94) i 1888 – tegnede der sig helt nye muligheder, der senere førte til radio og tv. Det er derfor, de stadigvæk en gang imellem omtales som de æterbårne medier.

## Alting i udvikling

Energi og elektromagnetiske svingninger er basale fysiske fænomener. Ved udgangen af 1800-tallet indvirkede disse fænomener markant på rigtig mange menneskers dagligdag. Folk rejste med dampdrevne tog, og de kunne tale i telefon og snart høre radio. Forståelsen af den levende verden undergik også helt afgørende ændringer. Her var det ændringer i vores helt grundlæggende forståelsesramme, som var i spil. En religiøs opfattelse af mennesket og dyrene som skabte af Gud blev erstattet af en forståelse, hvor der kun var naturfænomener underkastet naturlige lovmæssigheder. Et ældgammelt skema af naturen som indrettet i naturlige og uforanderlige kasser, arter, blev også ændret. Snart drejede alting sig snarere om udvikling.

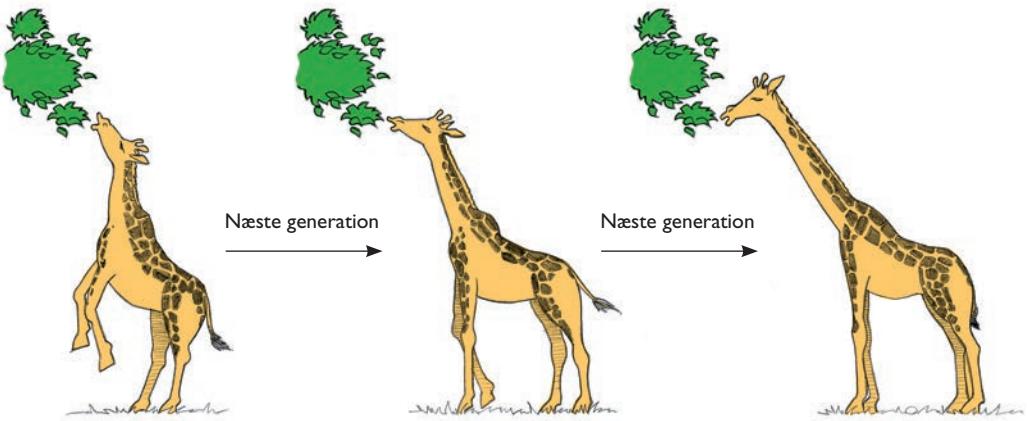
I 1831 rejste den 22-årige britiske naturforsker Charles Robert Darwin (1809-82) til Sydamerika ombord på skibet "Beagle". Da han fem år senere vendte tilbage, havde han et meget stort materiale med sig, som han brugte årtier på at bearbejde og analysere. Rejsen med Beagle skulle blive afgørende for Darwins teori om arternes udvikling gennem naturlig selektion og for vores nuværende forståelse af Jordens evolution og biologi.

I 1830'erne var ideen om udvikling udbredt. Mange filosoffer og naturforskere var overbeviste om, at livsforholdene havde ændret sig voldsomt på Jorden i løbet af de årtusinder eller millioner af år, den havde eksisteret. Der var mange forestillinger om Jordens alder. Den britiske geolog Charles

Lyell (1797-1875) havde publiceret værket *Principles of Geology* (1830-33), hvori han videreudviklede skotten James Huttons (1726-97) teorier. Ifølge disse havde Jorden udviklet sig uniformt og ved en lang række meget små ændringer. De kræfter, der frembragte disse geologiske ændringer, var de samme nu, som de havde været tidligere. Lyell argumenterede med megen evidens imod datidens ideer om, at der kunne ske meget pludselige forandringer, og at der i Jordens tidlige historie havde været fundamentalt andre kræfter på spil. Lyells teori var i strid med Bibelen, dvs. med den opfattelse, at Jorden var ”færdiglavet” og i sin historie havde været den samme hele tiden, dvs. fra Syndfloden og til i dag. Geologisk udvikling var således allerede på tapetet, og Lyell havde et væld af materiale, der dokumenterede hans teori, selvom han selv foretrak en, der i den første halvdel af 1800-tallet var meget kontroversiel. Darwins arbejde med arternes oprindelse 30 år senere udvidede Lyells såkaldt uniformitaristiske teori om Jordens geologi til det biologiske område. Arternes udvikling skulle baseres på princippet om variation ved små biologiske ændringer over en lang tidsperiode.

Inden for studiet af de levende organismer havde den franske zoolog Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) allerede i 1809 formuleret en udviklingsteori. Det karakteristiske for de fleste udviklingsteorier fra det tidlige 1800-tal er, at de opfatter udvikling som en udfoldelse af træk og potentialer, der allerede ligger skjult i det, som udvikler sig. Det er ofte den opfattelse, der ligger bag, når man taler om, at et barn, en person eller en kunstner udvikler sig – der ligger latente kim, som udfolder sig over tid og dermed skaber udviklingen. Det er meningsfuld tale i forbindelse med personer og muligvis også samfund eller kunstarter. Men når man taler om planter og dyr, så er det karakteristiske jo, at der er tale om individer – den enkelte plante, det enkelte dyr – og at de i vores begrebssystem er organiserede i arter med bestemte karakteristiske egenskaber, som netop definerer den bestemte art. Det enkelte individ kan udvikle sig: f.eks. planten, der starter som frø og ender som blomst, eller frøen, der starter som et æg og ender netop som en frø. Og det gælder selvfølgelig babyen, der ender som et fuldvoksent menneske. Men kan man tale om, at den enkelte art udvikler sig? Den kan muligvis ændre sig noget, men ikke på de helt væsentlige punkter, for så er det ikke længere den samme art. Lamarck var af den opfattelse, at ikke kun individer, men også arterne udviklede sig.

Men hvis det enkelte individ udfolder sig qua de kim til udvikling, som



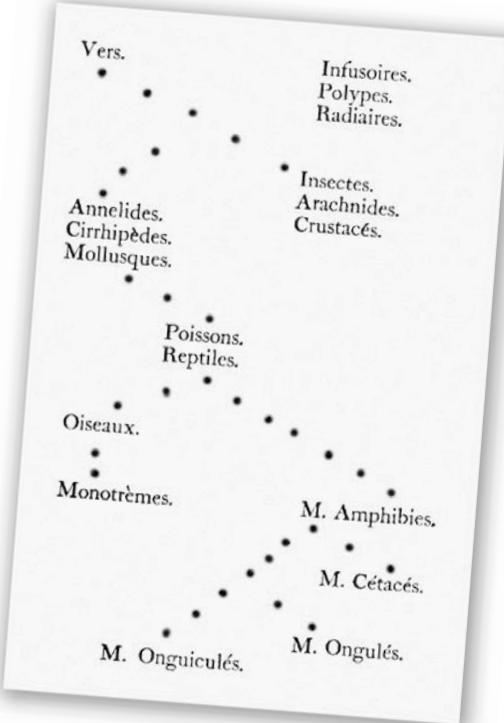
Det klassiske eksempel til at forklare lamarckisme er giraffens lange hals. Lamarck forestillede sig, at en giraf, der ustændig strækker sin hals for at spise af et træ, har tendens til at blive mere langhalset, og også vil føde mere langhalstede girafunger, mens den giraf, som ikke strækker sin hals, vil få afkom med uændret hals. Lamarck formåede aldrig at finde en tilfredsstillende forklaring på denne teori om, at et individets erhvervede egenskaber kunne nedarves til dets afkom, selvom han forsøgte sig med tanker som ”den naturlige tendens mod perfektion”.

gen klarhed over disse ting. Lamarck kunne ikke engang anse det enkelte individ som en ansamling celler, da celleteorien endnu ikke var formuleret – det skete først omkring 1840. Ikke desto mindre leder Lamarcks detaljerede studier af især hvirvelløse dyr og fossiler ham til at mene, at der er sket en udvikling fra noget mere primitivt og laverestående til noget mere komplekst og højerestående. Efter Lamarcks opfattelse er den afgørende faktor i udviklingen den indflydelse, som miljøet har på det enkelte individ. Når miljøet ændrer sig, påvirker det individet. For at der kan være tale om en arts udvikling, må disse ændringer kunne overføres fra et individ i én generation til individer i senere generationer. Ellers ville arterne jo ikke kunne forandre sig, så ville alle startkim i individerne i en art netop være identiske. Lamarck formulerede derfor den hypotese, at der måtte være en mekanisme, der muliggjorde, at et individets erhvervede egenskaber kunne nedarves til dets afkom. Hvordan det præcist foregik, kunne han ikke sige.

Tidens førende biolog, franskmanden Georges Cuvier (1769-1832), så med stor skepsis på Lamarcks ideer, selvom han ikke anså dem for så væ-

det har i sig, hvordan ændres der så på disse kim, så et nyt individ har andre kim i sig end forgængerne? Man må huske, at på Lamarcks tid kendte man ikke til hele formeringsprocessen, celledeling, kønsceller, kromosomer og alt det andet, der i dag er elementær biologi. Det er først omkring år 1900, at der begynder at komme no-

I slutningen af anden udgave af *Philosophie Zoologique* (1809) præsenterer Lamarck sit syn på oprindelsen af de forskellige dyregrupper. Startende med bl.a. polypper foroven repræsenteres evolutionen nedad med forgreninger til insekter, mollusker, fisk, reptiler, fugle, amfibier m.v. Det er det første evolutionære træ, der nogensinde er blevet offentliggjort - www.lamarck.cnrs.fr.



sentlige, at han ville bruge tid på at tilbagevise dem. Han måtte dog erkende, at der var overvældende evidens for, at der var sket store ændringer i Jordens historie. Han mente, at disse skyldtes store og pludselige ændringer f.eks. i klimaet, såkaldte katastrofer, der både medførte arters uddøen og opståen. Hvordan sådanne nye arter opstod, lod han stå hen i det uvisse, hvorved han faktisk undlod at tage stilling til det helt afgørende problem i sagen. Cuviers katastrofe-teori havde fundet et alternativ hos Lyell, der netop afviste forestillingen om pludselige ændringer til fordel for en uniform udvikling.

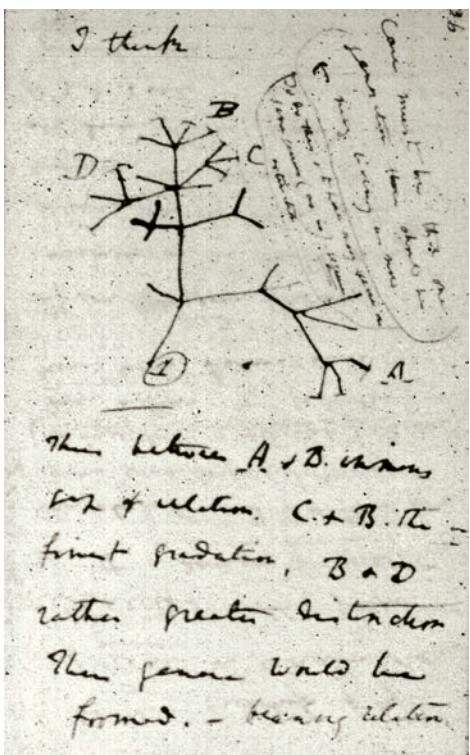
Da Darwin således i 1830'erne begyndte at arbejde med problemet, var nogle forudsætninger rimeligt klare. Man måtte for det første antage, at der var foregået en udvikling. Problemet var, hvordan den kunne foregå, når man ikke kunne redegøre for nye arters opståen. For det andet måtte man antage, at udviklingens mekanismer baserede sig på sammenhænge og lovmæssigheder, der var de samme til alle tider. De skulle også helst være kontinuerligt virkende, og det gik således ikke at hævde, at Gud af og til greb ind og udslettede nogle arter og skabte nogle nye. Ydermere var det afgørende, at man ikke kunne betragte den enkelte art, eller det levende som sådan, som en helhed, som en slags individ, der så kunne udvikle sig ved at udfolde nogle potentialer, der lå som kim i arten. Hvis der var nye arter, så gik det jo heller ikke, for hvordan kunne kimene i en gammel art medføre udvikling af en ny art, og ikke bare forandring af den gamle? Endelig var der god evidens

for, som Lamarck allerede havde set, at samspillet mellem det enkelte individ og dets omgivelser, miljøet, spillede en rolle.

I 1850'erne blev Darwin mere og mere klar over, hvordan man samlet kunne redegøre for både den biologiske diversitet, der er så karakteristisk for livet på Jorden, og for at der skete en udvikling hen imod en sådan diversitet. Samtidig var Darwin af den opfattelse, at en sådan teori ikke måtte være af teleologisk art, dvs. den måtte ikke antage, at endemålet så at sige trak i udviklingen, at det kim, der lå til udviklingen, var en lille model af endemålet. Det vil sige, at Darwin indså, at udvikling af arter er noget ganske andet end udvikling for det enkelte individ.

Personer, kunstnere, samfund, institutioner osv. udvikler sig i form af forandring – arter udvikler sig også ved, at de forandres, men der opstår også nye, og det er igennem disse nye arter – og uddøen af andre – at livet som sådan udvikler sig. Darwin så ikke kun diversitet i form af de mange tusinde arter af planter og dyr. Han bemærkede også, at der inden for den enkelte art var tale om en vis variation. Det havde forædlere af f.eks. heste altid udnyttet

iavl. Der valgte man hopper og hingste med bestemte egenskaber ud og lod dem formere sig. Afkommet havde så ofte de ønskede egenskaber, og ved fornyet formering kunne man præge hesten, dvs. fremavle heste med bestemte ønskværdige egenskaber. Darwin antog nu, at der i naturen skete en selektion af naturlig vej, der efterlignedeavlernes selektion af udvalgte hopper og hingste. Han mente, at hvis der fandtes en vis variation inden for den enkelte art, så måtte nogle individer nødvendigtvis overleve. C. & B. kan fint undgå, B. & D. råder gennem Selektion. Han saa nu, at han kan finde. – Severydelen



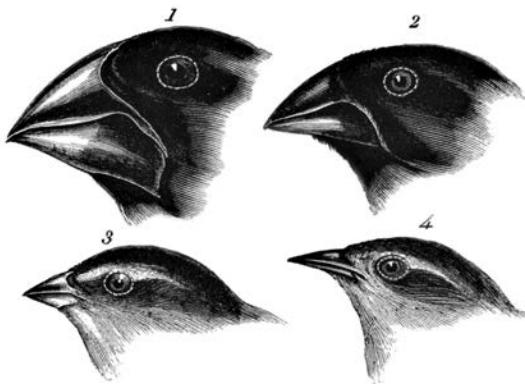
Dette er en tegning, som Darwin lavede i sin notesbog i 1837. Han spekulerer over et evolutionært stamtræs eventuelle form. Det skulle bl.a. kunne beskrive afstamningsforhold mellem grupper af organismer. Tegningen forudgiver en række koncepter, som senere blev centrale i hans teorier, bl.a. ideen om at alt levende har en fælles afstamning og ideen om, at variation er årsag til arternes diversificering. Cambridge University Library.

digvis have større chancer for at overleve og formere sig end andre. De, der overlevede, ville i højere grad give deres egenskaber videre til deres afkom. Der var tale om egenskaber, som ikke var erhvervede i løbet af individets liv, men netop var “medfødte” hos individet. Hvis andre individer med andre egenskaber netop ikke formerede sig, f.eks. fordi miljøet forhindrede dem i det, ville en arts egenskaber langsomt og gradvist forskydes i retning af nogle egenskaber og væk fra andre. Det ville ske ved naturlig selektion, som Darwin kaldte det, i modsætning til menneskets selektion, som den foregik i forbindelse med avlsdyr. Samspillet mellem det enkelte individ og miljøet måtte altså spille en rolle, fordi det favoriserede visse individer på bekostning af andre. De favoriserede formerede sig, og dermed blev artens samlede egenskaber påvirket. Det hele forudsatte en tilfældig variation af bestemte egenskaber inden for den enkelte art. Hvis der vitterligt var en sådan variation, så mente Darwin, at der var simple kausale principper, der kunne forklare, at udviklingen så ud til at bevæge sig i en bestemt retning.

Ud fra denne forståelse er der hverken små kim, der indeholder en model for et endemål, eller noget endemål, der præger udviklingen. Udviklingen er for så vidt blind og skyldes alene samspillet mellem variationerne inden for den enkelte art og de leveomstændigheder, hvorunder artens individer lever.

Det var blandt andet ved læsning af englænderen Thomas Malthus' (1766-1834) *Essay om principper for populationer* (1798) – hvori Malthus viste, at populationer ville gro uuhæmmet, hvis ikke de var begrænset i deres adgang til naturens ressourcer – at Darwin fik ideen til den naturlige selektion. Darwin havde ikke nogen forestilling om, hvordan variable egenskaber, som f.eks. et individs højde, nedarvedes til afkommet. Han antog alene, at der rent faktisk fandtes en sådan arvemekanisme. Han havde heller ikke nogen forestilling om, hvordan man kunne redegøre for variation inden for den enkelte art, han kunne kun konstatere, at den faktisk forekom. Han måtte altså antage ganske mange ting, som først senere blev klarlagt: gener, kromosomer, mutationer m.v. Men det afgørende er, at Darwin fremlagde en teori om udvikling af arter, der er en rent kausal teori, og som bygger på samspillet mellem materielle lovmæssigheder og tilfældig variation.

I 1856 var det klart for Darwin, at den unge naturalist Alfred Russell Wallace (1823-1913) arbejdede med de samme ideer. Darwins og Wallaces teorier blev fremlagt for det videnskabelige samfund, og i 1859 publicerede



1. *Geospiza magnirostris.*  
3. *Geospiza parvula.*

2. *Geospiza fortis.*  
4. *Certhidea olivacea.*

Det er ofte blevet sagt, at Darwins finker, som han samlede under sin rejse til Galápagosøerne, var inspirationen til ideerne i *Arternes Oprindelse*. Men Darwin troede til at starte med, at det både var solsorte og finker. Først efter at den engelske ornitolog John Gould (1808-81) havde klassificeret Darwins 14 fugle som ”en hel ny gruppe af 12 forskellige underarter” af finker, fik Darwin en mistanke om, at hver af dem havde tilpasset sig de forskellige livsbetingelser, der herskede på de forskellige øer, de var blevet taget fra.

teori en helt ny model for, hvordan tingene i verden hang sammen. Der var ifølge Darwin ikke nogen plan for udviklingen og heller ikke noget hierarki med Gud eller det meningsgivende princip øverst. Verden og livet var i konstant forandring og variation, og den orden, der fandtes i verden, var alene et resultat af blinde kræfters virken og ikke noget design med hensigt eller formål. Det er Darwins radikale teori.

De fleste andre udviklingsteoretikere, f.eks. Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831) og Karl Marx (1818-83), havde set strukturer, hensigter, mål, mening. Men kun Darwin så et komplekst samspil mellem naturlove og tilfældig variation. Set i bakspejlet er det muligt at se en struktur eller et mønster, men i et samtidigt eller fremadrettet perspektiv er der ingen plan for udviklingen. Så udviklingsteorien er en teori, der radikalt ændrer udviklingsbegrebet til at være et begreb, som beskriver forandringsprocesser, der ganske vist kan ligne processer med formål og mening, men som i virkeligheden er blinde. Et mekanisk system udvikler sig ikke, det forandrer sig muligvis, gennemløber forskellige tilstande, mens et biologisk system udvikler sig, hvis der er tale om en tilfældig variation af egenskaber, der har betydning for systemets reproduktion, dvs. for den måde, hvorpå nye generationer overlever i forhold til tidligere generationer.

Darwin så sit hovedværk *The Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, der senere blev oversat til dansk af J.P. Jacobsen (1869-1918) under titlen *Arternes Oprindelse*, idet værket var udkommet i hæfter med den sigeende titel *Naturlivets Grundlove*. Bogen vakte en del opsigt og blev i de følgende år uhyre omdiskuteret, især da Darwin begyndte at anvende teorierne på menneskets udvikling. Ud over at Darwin krænkede Bibelen ved at hævde, at mennesket nedstammede fra abe-lignende væsener, så leverede hans

Efter Darwin var det ikke længere nødvendigvis sådan, at man ved at gå en tur i skoven kun kunne forundres over den umådelige variation, snilde og tilpasning, som livet udviser, og se det som et udslag af Guds visdom – nu kunne man også se det som udslag af en lang udviklingshistorie, hvor blinde kausale mekanismer i samspil med tilfældig variation har været i spil. Ikke engang mennesket gik ram forbi. Det kunne også ses som et resultat af sådanne krafter, og ikke som resultat af en skabelse i Guds billede. Måske var selv fornuften, der jo var videnskabens forudsætning, et resultat af blot og bar naturlig selektion. Vi vil senere vende tilbage til det at anlægge en udviklingsbetragtning på naturen, hvor den ikke først og fremmest ses som et mekanisk system, men netop som et system i udvikling.

## Lægen og sæben

Darwin ændrede med udviklingsteorien hele forståelsen af, hvad den levende natur er, og hvad liv er. I lægevidenskaben skete der samtidig helt afgørende ændringer af opfattelsen af sundhed og sygdom. Op til omkring midten af 1800-tallet havde man stået stort set magtesløse over for de fleste sygdomme. Man havde kunnet udføre visse kirurgiske operationer, men da man hverken havde bedøvelse eller forstod de mest grundlæggende ting om hygiejne og sterilisation, var det meget ubehageligt og risikofyldt.

Men efter midten af 1800-tallet udviklede der sig en naturvidenskabeligt baseret sundhedstjeneste – lægevidenskaben – der kunne fremvise resultater, specielt i form af specifikke behandlinger til be-



Allerede i 1700-tallet skrev Voltaire, at "Lægekunsten består i at underholde patienten, mens naturen kurerer sygdommen". Det var alligevel ikke småting, de syge blev utsat for: åreladninger, brækmidler, lavementer og tjærebade var almindelige lægemidler op til midten af 1800-tallet. De lidt mere kostbare medikamenter var knoglemel fra narhvalen, egyptisk mumiepulver og geders galdesten. Mange steder brugte man også det oprindelige romerske universalmiddel teriak som modgift til pestsyge: en lidet vellugtende tinktur bestående af opium, kod fra hugorme, krokodillelort, grisetaender, tarme fra tæger, slangegaldeblærer og fluemøg. Ydermere anså man skål fra en hængt persons hoved som en vigtig ingrediens. På billedet ses patienten Harlekin modtage en klystersprøjte. Stik fra italiensk maskekomedie, udgivet i Amsterdam 1710.

stemte sygdomme, og som yderligere var i stand til at ændre kirurgien fra et håndværk til en videnskabeligt funderet teknologi. At befolkningernes sundhed i samme periode øgedes drastisk – hvilket den voldsomt stigende gennemsnitlige levealder vidner om – skyldes nok i det væsentlige en økonomisk udvikling, der muliggjorde langt bedre ernæring og leveforhold for store dele af befolkningen.

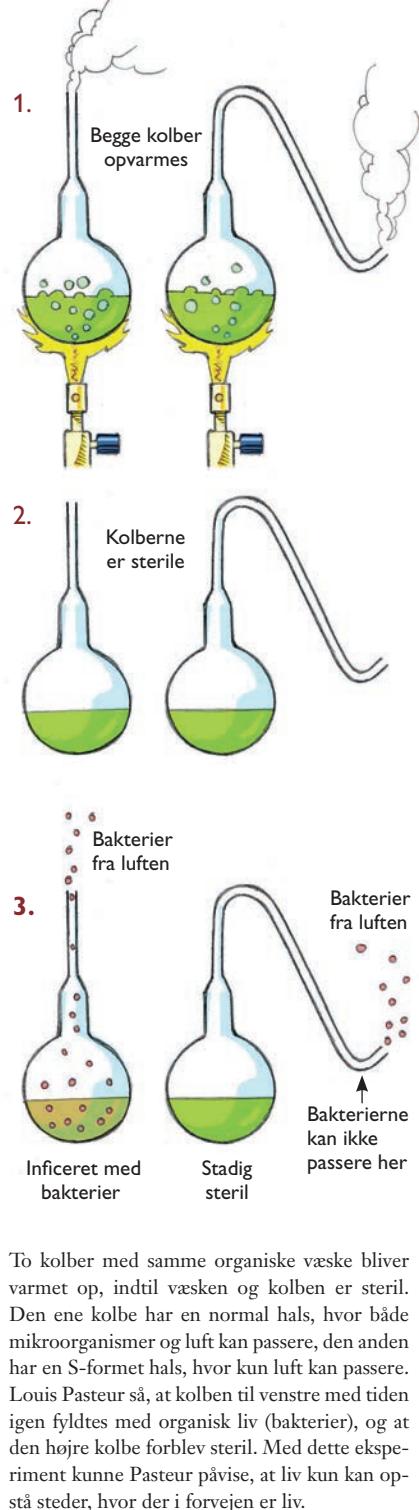
Menneskets anatomi og fysiologi var blevet studeret intenst i flere århundreder, og med den nye kemi var det muligt at forstå processerne i levende organismer, herunder i mennesket. Men man havde ingen gode teorier om, hvad sygdom egentlig var. Mange mente, at det var noget, der skulle forstås ud fra moralske eller religiøse begreber, som f.eks. Guds straf for synd. Andre hældede til klassiske teorier om manglende balance mellem forskellige elementer i kroppen, og andre igen mente, at eksterne faktorer af mere almen karakter spillede en afgørende rolle. Man forsøgte så f.eks. at genoprette balance eller at skaffe bedre forhold, hvor f.eks. dårlig luft ikke fandtes. Men der var tale om uspecifikke tiltag af helt almen karakter. Lægen kunne årelade, give brækmidler, lavement eller lignende og ellers blot betragte og registrere sygdomsforløbene. Man kunne beskrive disse ud fra symptomer og forløb og kunne derfor lave diagnostiske systemer. Det var muligt ud fra observation af en patient samt indsigt i vedkommendes tidligere levned at komme med forudsigelser om en sygdoms fremtidige forløb. Men det var sjældent, at man kunne gribte ind. I århundreder havde man i Europa haft epidemier af forskellige meget farlige sygdomme. Pesten, den sorte død, er velkendt, og fremkomsten af flere store byer betød en forværring af sundhedstilstanden, ligesom man stod stort set magtesløs over for epidemier. Byer og industrialisering skabte et meget dårligt stillet proletariat, der ofte var henvist til offentlige sygehuse.

Det var således meget almindeligt, at dårligt stillede kvinder fødte på offentlige fødselsanstalter, hvor de var henvist til lægernes evner. På disse anstalter var dødeligheden ved fødsler kolossal – og det var den langt op i århundredet. Den erfaringsbaserede fødselshjælp, som jordemødre gav, resulterede ikke i tilsvarende dødelighed, men jordemødre var ikke til rådighed for de laveste klasser.

Et enormt arbejde med at fastlægge sygdomsårsager ved hjælp af obduktion havde omkring 1850 ført til en bedre forståelse af mange sygdomme. Samtidig havde man fået en række videnskabelige teorier, der kunne bruges

til at analysere processer af både normal og patologisk art. Det blev mere og mere klart, at sygdomsprocesser for så vidt er “normale” biologiske processer – de har blot uhedlige resultater for organismen. På basis af en teori om, at alt liv var baseret på processer i og mellem “celler”, der udgjorde organismens byggesten, formulerede tyskeren Rudolf Virchow (1821-1902) netop i midten af århundredet en teori om sygdomme som naturligt liv under unaturlige omstændigheder. Teorien pegede i retning af nye handlemuligheder.

Det var franskmanden Louis Pasteur (1822-95), der viste vejen. Han var egentlig imod en forståelse af det levende som blot og bort avanceret fysik og kemi. Han argumenterede for, at liv kun kunne opstå af liv. Celleteorien om organismer kunne understøtte dette – hvad Virchow i øvrigt også så. Enhver celle fremkom fra andre celler, og ingen levende celle opstod af sig selv. Pasteur havde arbejdet med mange praktiske biologiske processer – det, vi i dag ville kalde bioteknologi. Han mente, at forrådnelse, gæring og sygdom i virkeligheden alle var processer af samme slags, og at de alle var egentlige biologiske processer, dvs. at de på en essentiell måde involverede levende organismer. Mange havde forsøgt at forstå sygdomme som en art forgiftninger, som en situation, hvor en organisme blev påført et smitstof, som den så reagerede på efter helt bestemte lovmæssigheder. Det gav også god mening med nogle former for forgiftninger. Men det gav ikke mening over for mange



To kolber med samme organiske væske bliver varmet op, indtil væsken og kolben er steril. Den ene kolbe har en normal hals, hvor både mikroorganismer og luft kan passere, den anden har en S-formet hals, hvor kun luft kan passere. Louis Pasteur så, at kolben til venstre med tiden igen fyldtes med organisk liv (bakterier), og at den højre kolbe forblev steril. Med dette eksperiment kunne Pasteur påvise, at liv kun kan opstå steder, hvor der i forvejen er liv.

sygdomme, som man i øvrigt kunne se måtte have relation til et fænomen, som kunne overføres fra person til person, eller eventuelt fra dyr til menneske. Pasteur var af den opfattelse, at mange biologiske processer, inklusive også sygdomme, skyldtes for det blotte øje usynlige organismer, som inficerede stoffer og organismer. Her formerede de sig og frembragte de observerede fænomener. Gærings af f.eks. øl, vin og eddike var et eksempel på observerbare organismer, der kunne frembringe nye stoffer. Når brød mugnedes, eller når fødevarer fordærvedes, skete noget tilsvarende. Små organismer i luften forårsagede disse fænomener. Hvis man f.eks. sikrede, at sådanne mikroorganismer ikke kunne komme til en suppe, så skete der heller ingen forrådnelse i denne. Den forblev, som vi vil sige, steril. På samme måde mente Pasteur, at det forholdt sig med sygdomme. Bestemte mikroorganismer invaderede en anden organisme og formerede sig i denne, og det forårsagede sygdomme.

Pasteur formulerede den opfattelse, at der til hver sygdom fandtes en specifik årsag, typisk en mikroorganisme, og at det ville være muligt at helbrede eller forebygge sygdommen, hvis man dels kendte dens årsag og dels kunne eliminere denne eller dens virkninger. Han havde allerede arbejdet med gæringer og vist, at de forskellige gærings typer skyldtes forskellige former for gær. Han havde også indset, at gær kan leve både med og uden tilførsel af ilt – aerobisk og anaerobisk. Kun uden tilførsel af ilt nedbryder gærings sukker til alkohol. Så snart man vidste dette, kunne man kontrollere f.eks. ølbrygning, idet det jo så drejede sig om at sikre, at der ikke tilførtes ilt. Hans videre studier af sygdomsprocesser førte til yderligere praktiske resultater, hvoraf det mest kendte er hans første vaccination imod hundegalskab fra 1885.

Pasteur og den tyske forsker Robert Koch (1843-1910) kunne påvise mikroorganismer som årsag til mange af de mest frygtede sygdomme, f.eks. tuberkulose, og i nogle tilfælde også foreslå og udvikle behandling ud fra en teori om, at en organisme, der udsættes for en mikroorganisme, udvikler et forsvar imod den. Pasteur havde ved studier af en sygdom hos høns set, at man på forskellig vis kunne dæmpe smitstoffets sygdomsfremkaldende evner radikalt, og at hønsene undertiden udviklede et forsvar imod sygdommen. Ved at udvinde det virksomme stof og overføre det til mennesker kunne disse enten gøres modstandsdygtige eller direkte helbredes. Ligeledes kunne fødevarer gøres smittefri ved ”pasteurisering”, dvs. opvarmning, så-



*The Cow-Pock — or — the Wonderful Effects of the New Inoculation! — Vide... the Publications of the Anti-Vaccine Society.*

ledes at mikroorganismer eller kimene til dem blev dræbt.

Inden for en lang række områder lykkedes det Pasteur ved sin grundlæggende teori at løse væsentlige praktiske problemer. Det blev også klart, at mange betændelser og sygdomstilstande knyttet til f.eks. fødsler eller operationer – der nu i øvrigt kunne udføres under bedøvelse, og derfor kunne være mere omfattende og indgribende – skyldtes mikroorganismer. Kunne man forhindre disses tilstede-værelse, kunne man også forhindre problemerne. Efter omkring 1870 indførtes antiseptik og sterilisationsprocedurer, og fra slutningen af 1800-tallet indførtes praksisser, der langt hen ad vejen svarer til det, vi kender i dag, f.eks. kirurgiske handsker og højt prioriteret hygiejne.

De nye ideer om sygdomme blev utroligt udbredte og indflydelsesrige i de følgende årtier. Den ene sygdom efter den anden blev studeret, man fandt den ansvarlige mikroorganisme, og efterhånden fandt man også lægemidler

Den første vaccine i menneskeheds historie blev udviklet af Edward Jenner (1749-1823). Han observerede, at malkepiger aldrig fik kopper, når de først havde fået kokopper, en sygdom som lignede, men var langt mindre virulent end rigtige kopper. Jenner injicerede derfor forsøgsvis kokopper i mennesker, bl.a. sin egen søn, og udsatte dem bagefter for kopper-vira. Det viste sig, at de var blevet immune. I denne karikatur af James Gillray (1757-1815) fra 1802 gengives den folkelige angst for vaccinationen med kokopper. Pasteur valgte senere at give denne behandlingsform ordet "vaccination", der kommer fra det latinske *vaccina*, som betyder ko, til ære for Jenners arbejde . The Wellcome Trust, London.



mod mange af lidelserne – dvs. stoffer, der slog de sygdomsforårsagende mikroorganismer ihjel. Tuberkulose, difteri, malaria, tyfus, kolera osv. viste sig alle at passe på modellen. Ofte var smitteveje og andre forhold yderst komplekse, men man fandt frem til dem. ”Mikrobe-jægerne” var tidens videnskabelige Sherlock Holmes’er.

En række sygdomme lod sig dog ikke forstå, endlige behandle på denne måde. Omkring 1900 førte den øgede forståelse af de kemiske processer i organismerne frem til en opfattelse af, at sygdomme også kunne fremkaldes ved fraværet af bestemte nødvendige stoffer. Sult er kroneksemplet, men også sygdomme, der så ud som infektionssygdomme, kunne vise sig at være mangel-sygdomme. Ved tilførsel af små mængder af visse stoffer, eller ved indtagelse af ordentlig føde, kunne man pludselig opnå dramatiske resultater. Mennesker, der i årevis havde lidt voldsomt, blev helbredte ved i en vis forstand simple midler – ved f.eks. at spise upolerede ris eller ved at få tilført visse næringsstoffer, som syntes at mangle i deres kost, eller ved blot at bruge sæbe før og efter toiletbesøg.



Fra begyndelsen af århundredet havde der været et tæt samspil imellem kemi og medicin. Det lykkedes kemikerne at fremstille mange rene stoffer ud fra naturlægemidler,

f.eks. morfin ud fra opium, og at syntetisere nye. Aspirin blev således fremstillet allerede omkring 1850, men blev dog først anvendt mere udbredt til smertelindring fra omkring 1890. I det hele taget er det vigtigt at være opmærksom på, at de fænomener, vi i dag tager som selvfølgelige – hygiejne, sterile operationer, vaccination, brug af kemiske stoffer til desinfektion og som lægemidler – var længe om at vinde fodfæste. Man kan næsten sige, at de gamle metoder og opfattelser, der havde rod i f.eks. romantiske naturopfattelser, først forsvandt, da de mennesker, der gik ind for dem, døde. At der var en sammenhæng imellem kirurgens hænder og infektion i et operationssår var således evident for mange allerede omkring 1850, men alligevel vandt brugen af kirurgiske handsker først omkring 1895 almen udbredelse. Tusindvis af dårligt stillede kvinder døde i perioden mellem 1840'erne og

Operationer på hospitaler i hhv. 1500- og 1900-tallet. Træsnit fra Paracelsus' (*1493-1541*) *Opus chirurgicum* fra 1565 samt operationsrum fra University of California Hospital, 1924. UCSF Library and Center for Knowledge Management

1880'erne af infektioner i forbindelse med fødsler, på trods af at der var masser af evidens for, at læger, der ikke anvendte sterile metoder ved fødslen, eller bare god, solid hygiejne, var en afgørende faktor for udbruddet af disse infektioner.

Der var således god grund til at tro, at alle sygdomme enten skyldtes defekter i den måde, en organisme fungerede på rent fysisk eller kemisk, eller påvirkning fra en fremmed mikroorganisme. Sygdomme var naturlige reaktioner på unormale påvirkninger, og helbredelse eller forebyggelse bestod i at finde og eliminere denne unormale påvirkning. Man kunne dræbe mikroorganismen eller "reparere" den unormale funktion. Den nye viden gjorde, at man faktisk fik mange sygdomme under kontrol og fik udviklet, hvad mange opfattede som rene mirakel-mediciner, og teorierne fik utrolig høj status og indflydelse. Kun det, der kunne forstås inden for disse rammer, blev betragtet som egentlige sygdomme. Selv visse adfærdsformer, som man anså for unormale – sygelige – kunne forstås som resultatet af f.eks. en genetisk defekt.

Den generelle model for praktisk relevant videnskabeligt arbejde, som lægevidenskaben havde udviklet, blev utroligt generaliseret. For at løse et problem gjaldt det om at finde en årsagssammenhæng og dernæst om at søge midler til at kontrollere denne ved påvirkning af årsagen. Var dét muligt, var det også muligt at løse problemet. Ingenørerne anvendte fysik og kemi til at muliggøre nye konstruktioner og produkter, lægerne anvendte naturvidenskaben til at kontrollere naturen, således at de uønskede, men naturligt fremkomne og forløbende processer kunne kontrolleres. De syge og deres sygdom var for lægerne organismer, der var utsat for lovmæssigt forløbende naturprocesser, som altid havde en årsag. Nogen gange påførte patienter sig selv sygdomme – ved f.eks. at drikke sig til en ødelagt lever – andre gange blev patienten ved et tilfælde påført den. Men der var altid tale om naturligt forløbende processer.

Det gav masser af resultater, men også problemer over for visse former for sygdomme, først og fremmest dem, der ikke umiddelbart kunne vises at være resultatet af naturprocesser – de blev kaldt sindssygdomme – og over for dem, der ikke syntes at have nogen specifikke årsager, men måske snarere var et resultat af et komplekst samspil mellem en lang række faktorer, der hver især kun havde en vis sandsynlighedsmæssig relation til sygdommen. Endvidere viste det sig også, at selv i de "rene" tilfælde, var situationen langt mere kompliceret. For det var bestemt ikke altid, at mennesker, der blev

inficeret med en given mikroorganisme, udviklede den til denne hørende sygdom. Ved et berømt forsøg påførte flere forskere sig selv en bestemt sygdomsfremkaldende organisme, uden at de nødvendigvis udviklede sygdommen. Der var altså flere faktorer i spil end blot fraværet eller tilstede værelsen af bestemte mikroorganismer.

I en lang periode fra omkring 1880 og frem var lægerne og lægevidenskaben det helt dominerende eksempel på, hvad videnskab formåede, ikke blot af erkendelse, men også af praktisk problemløsning. Lægerne opfattedes som helte, fordi de via forskning og teoretisk erkendelse kunne løse alvorlige problemer, som havde plaget menneskeheden i århundreder. Ingeniørerne skabte det tekniske fremskridt, og lægerne fjernede en lang række af menneskehedens plager. På den måde gik videnskab, teknologi og fremskridt hånd i hånd. Lægen og ingeniøren var de to bedste eksempler på det, der ofte omkring år 1900 blev kaldt menneskeåndens sejre.

## Introspektion

I løbet af 1800-tallets sidste årtier ændres opfattelsen af mennesket radikalt. Der opstod en videnskab, som mente sig i stand til rent eksperimentelt at sige noget om mennesket, ikke blot som krop, men som tænkende, sansende og handlende væsen, dvs. som bevidst væsen. Det var psykologien. Der opstod også en udbredt accept af, at mennesker ikke kun kunne være syge i kropslig forstand, men også ”mentalt” eller i sindet, og at der fandtes en særlig form for behandling, nemlig psykoterapi, som rettede sig mod netop sådanne lidelser.

Vejen til psykologien som anerkendt videnskab og anvendelig praksis var imidlertid lang og kringlet. Omkring 1800 var elektriske og magnetiske fænomener højeste mode. På den tid opstod også en behandlingsform for sygdomme baseret på teorier om magnetisme. Behandleren Anton Mesmer (1734-1815) tilbød at kurere en stor mængde lidelser ved hjælp af, hvad han anså for magnetisme. Der var stor tilstrømning, og angiveligt også mange helbredte. Det var uklart, hvad Mesmer egentlig gjorde, men i adskillige tilfælde forlyder det, at han kunne kurere en større mængde mennesker, der alle via jernstænger var i forbindelse med ham og en i ham dvælende magnetisk kilde. Mesmer var dybt kontroversiel, forfulgt og døde i armod. I dag siger man, at han som en af de første arbejdede med hypnose. Han troede,



Anton Mesmer behandler en kvindelig patient med sine såkaldte magnetiske kræfter. Maskinen, der fungerer som medium, kaldte han et "baquet".

at det var en form for dyrisk magnetisme, at han havde særlige kræfter og kunne påvirke andre mennesker magnetisk. Vi ville sige, at han var i stand til at hypnotisere større grupper på én gang og dermed overbevise dem om, at de ikke længere var syge.

I århundreder havde

man samlet alle former for menneskelige afvigere og mennesker med forskellige lidelser i opbevaringsanstalter, ofte kaldet "dårekister". Forbrydere, sindssyge, åndssvage, fysisk syge med neurologiske lidelser, alt sammen blev det mere eller mindre opfattet som afvigelse og kategoriseret under et. På et tidspunkt i slutningen af 1700-tallet begyndte man at antage eksistensen af sindssygdomme og udskille sindslidende som en særlig kategori. Franskmanden Philippe Pinel (1745-1826) forsøgte sig med både teori og en vis form for human behandling. Men som hovedregel blev sindssyge utsat for voldsomme fysiske behandlinger og restriktioner.

Op igennem 1800-tallet forholdt man sig meget forskelligt til de sindssyge. Nogle mente, at de alle var fysisk syge, og at sygdommen var lokaliseret til hjerne og nervesystem – de led af dårlige nerver. Andre mente, at der fandtes en særlig gruppe sygdomme, som ikke var fysiske, men mentale, dvs. egentlige sindssygdomme. Behandlingen af disse skulle derfor også være af en anden art end den fysiske, man normalt "tilbød": åreladning, brækning, fastspænding eller andre former for hårdhændet fysisk påvirkning. Man havde dog ingen klare forestillinger om hvad slags aktivitet, en psykisk behandling skulle bestå i. I midten af århundredet var man kommet så langt, at man helt afviste, at hvad man nu kaldte "hypnose" havde noget med magnetisme at gøre. Englænderen James Braid (1795-1860), der introducerede ordet hypnose, mente, at man havde at gøre med en særlig



fysiologisk funktion, og at man kunne udnytte hypnose til behandling af mange former for sygdomme og lidelser. Omkring midten af århundredet skete der også en vis afklaring af situationen omkring sindssygdomme, idet der klart udskilte sig to skoler: en somatisk, der mente, at der slet ikke fandtes egentlige sindssygdomme, og en psykisk, der mente, at der netop fandtes mulighed for, at særlige psykiske processer kunne være forstyrrende eller anormale og dermed give sig udslag i sindssygdomme. Skotten William Cullen (1710-90) havde allerede i slutningen af 1700-tallet med "neuroser" forstået en række lidelser, der blev forårsaget af, at de normale mentale processer foregik for hurtigt.

Fra midten af 1800-tallet forsøgte man også at få overblik over feltet, at beskrive og systematisere de mange menneskelige adfærdsformer og forstyrrelser, uden absolut at skulle gøre sig specifikke forestillinger om, hvad der var årsag til dem. Tyskerne Wilhelm Griesinger (1817-68) og senere Emil Kraepelin (1856-1926) skabte grundlaget for de begreber, vi i dag anvender inden for psykiatrien. Det betød selvfølgelig ikke, at der ikke var mange læger, der – helt i overensstemmelse med en udbredt videnskabelig materialisme – mente, at det i sidste instans alt sammen skyldtes fejl i hjernen. To

Den spanske maler Francisco de Goya (1746-1828) lavede en hel række skildringer af datidens behandling af sindslidende. Bl.a. gengav han scener fra Zaragozas "dårekister". Her ses hans *Galehuset*, 1812-14 · Museo de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Madrid.

fænomener kom her på tværs. Det ene var hypnosen, som viste, at mennesker var i stand til at fungere bevidst på flere måder. Det betød, at menneskets mentale opbygning var væsentlig mere kompleks, end man umiddelbart skulle tro. Der lå flere ting bag, end hvad der viste sig for den enkelte i denes indre liv. Det andet fænomen var de såkaldte "funktionelle neuroser", dvs. psykiske afvigelser eller sygdomme, hvor der ikke på nogen måde kunne påvises noget somatisk grundlag, dvs. nogen defekter eller fejlfunktioner i nervesystemet eller hjernen. Den kendteste af disse var hysterien, der viste sig i dramatiske konvulsive anfall, som mindede om epileptiske anfall, først og fremmest hos kvinder.

Ligesom hypnotiske fænomener har været kendt i utallige tider og i mange kulturer, så findes hysteriske fænomener også rapporteret ret tidligt i medicinens historie. Den romerske læge Galen (ca. 129-199) beskriver således et tilfælde, som han mener skyldes kærlighedskomplikationer. Hysterien viste sig altså som somatiske lidelser, hvor man på baggrund af undersø-



geler og sygehistorie mente at kunne udelukke en faktisk fysisk sygdom. Symptomerne kunne f.eks. være lammelser eller følelsesløshed i en arm eller et ben, eller blind- og døvhed. Det viste sig nu, at man i visse tilfælde kunne hypnotisere den hysteriske person, hvorefter symptomerne forsvandt. Der var altså en forbindelse mellem hysteri og hypnose. Men det var helt uklart hvilken forbindelse. I årtierne fra 1860 til 1890 var hysteri genstand for enorm forskningsmæssig interesse.

Franskmændene Paul Briquet (1796-1881) og Jean Martin Charcot (1825-93) studerede nøje fænomenet, Briquet bl.a. på basis af nøje observation af 430 kvindelige patienter. Charcot, der var datidens førende forsker i nervesystemets sygdomme, arbejdede med mennesker, der havde været ude for særlige psykiske chok. Han mente, at sammenhængen mellem hypnose og hysteri var den, at visse mennesker havde et sådant nervesystem, at de nemt lod sig påvirke – de var særligt følsomme. De kunne få neurotiske symptomer af fysisk art, fordi de nemt lod sig påvirke og traumatisere. Af samme grund kunne de også helbredes gennem hypnose, hvor de blev utsat for påvirkning fra et andet menneske.

Disse mange empiriske studier viste også, at det seksuelle på en eller anden måde spillede en rolle. Op til midten af 1800-tallet havde man nærmest taget det som en selvfølge, at der var en sammenhæng mellem seksualiteten og visse former for sindssygdom. Briquet benægtede imidlertid sammenhængen, og det gjorde Charcot delvist også. Der var imidlertid ganske mange læger og forskere, der mente, at seksuelle praktikker som masturbation og afbrudt samleje førte til psykiske forstyrrelser, og selv Briquet bemærkede, at han i sit store materiale ikke fandt hysteriske lidelser hos nonner, men at der var mange prostituerede blandt hans patienter. Seksuallivet var i denne periode genstand for stor interesse, især når det gjaldt, hvad man opfattede som sygelige afvigelser fra det såkaldt normale.

Det var dog ikke alle, der var enige med Briquet og Charcot i deres opfattelse af hypnose og hysteri, der jo gjorde modtagelighed for hypnose til noget nær en psykisk lidelse i sig selv. To andre franskmænd, Ambroise-Auguste Liébeault (1823-1904) og Hippolyte Bernheim (1837-1919) mente, at hypnose baserede sig på normale psykologiske fænomener, først og frem

mest suggestion. De mente, at der skete særlige processer af psykisk art mellem hypnotisøren og den hypnoti-

◀ Jean Martin Charcot demonstrerer et tilfælde af hysteri. Engraving efter maleri af André Brouillet (1857-1914) fra 1887 · Mary Evans Picture Library.

serede, og at man kunne benytte dette i behandlingen af visse sygdomme. De skabte dermed den første bevidste form for psykoterapi. Bevidst forstået på den måde, at man i mange kulturer har arbejdet med behandlinger og fremgangsmåder, der meget vel vil kunne kaldes netop psykoterapeutiske. Hypnotisk behandling blev i lægelige kredse opfattet som fagligt helt uacceptabelt, bl.a. fordi det jo forudsatte, at man opfattede hypnotiserbarhed som en almen menneskelig egenskab.

Psykologien som eksperimentel videnskab blev grundlagt ud fra bevidste forsøg på at lære af naturvidenskaben, i hvert fald metodologisk. Psykoterapien blev grundlagt ud fra en opfattelse af mennesket, der havde basis i erfaring, og som derfor kunne anses for videnskabelig, men som samtidig eksplisit hævdede, at der ud over fysiske ændringer og påvirkninger af mennesket og dets organer – herunder hjernen og nervesystemet – også fandtes andre typer af systemer og påvirkninger, der kunne give sig udslag i unormale, sygelige tilstande og former for adfærd.

Teorier om det psykiske og om psykologiske processer har været en væsentlig del af filosofien siden antikken. Læger har også ofte som del af deres teorier arbejdet med spørgsmål, der havde psykologisk relevans. Den klassiske teori om temperamenterne og deres sammenhæng med legemsvæskeerne er et godt eksempel (se s. 48). Således var f.eks. den "sangvinske" (af *sanguis*, blod) type temperamentsfuld pga. sit meget hede blod. Først omkring 1860'erne var der imidlertid filosoffer, der formulerede den tanke, at man kunne studere de psykologiske fænomener eksperimentelt, dvs. i deres egen ret. Derned skulle udsagn om, hvordan de mentale fænomener egentlig foregik, ikke blot basere sig på, hvad hver enkelt vidste ud fra sig selv, men på objektive forsøg, der kunne gentages og kontrolleres. Tyskeren Gustav Fechner (1801-87) udgav i 1860 den første større fremstilling af, hvad han kaldte en psykofysik. Den var baseret på ideen om eksperimentelle studier i form af målinger og koncentrerede sig om sansning og perception. Han ønskede egentlig som forsker at give videnskabeligt bevis for sjælens eksistens og var også stærkt motiveret af en ide om, at æstetik kunne blive til en videnskab, hvis man kunne vinde yderligere erkendelse om, hvordan mennesket rent faktisk oplevede verden. Et væsentligt resultat af Fechners studier var fastlæggelsen af sammenhængen mellem påvirkningen af et sanseorgan og den oplevede effekt. Fechner viste, at den var logaritmisk – en erkendelse, der stadig bruges i forbindelse med skalaer for oplevede sansninger, f.eks. dB-skalaen for oplevet lyd.

Den tyske fysiolog og filosof Wilhelm Wundt (1832-1920) grundlagde omkring 1880 et psykologisk laboratorium i Leipzig. Han var blevet udnævnt til professor i filosofi, men havde en baggrund i naturvidenskab. Wundt havde forsket i forskellige former for fysiologi med hovedvægten på perception i tilknytning til den tyske forsker Hermann von Helmholtz (1821-94), der beskæftigede sig både med fysik og med fysiologi, især synets fysiologi, og som samtidig havde filosofiske interesser. I det hele taget var troen på, at filosofien som systematisk disciplin kunne levere egentlig viden, på hurtigt tilbagetog. Det var den empiriske og især den eksperimentelle videnskab, der gav løsninger og viden. Wundt mente, at al videnskab kunne opdeles i to typer, naturvidenskab og åndsvidenskab, hvor den første arbejdede med love og på basis af eksperimenter, mens den anden arbejdede med fortolkninger og på basis af en direkte erfaring og indleven, og brugte en historisk og sammenlignende metode. Psykologien var formidlende mellem de to former for videnskab, idet den både havde en naturvidenskabelig og en åndsvidenskabelig side. Wundt bidrog til begge, men det blev hans bidrag til den eksperimentelle videnskab, der fik størst gennemslagskraft. I en lang årrække var hans laboratorium i Leipzig centrum for etableringen af psykologi som videnskab.

Der gik dog ikke mange år, før der blev skabt en problematisk situation inden for psykologien. Flere mente, at Wundts eksperimentelle metoder, der var hentet fra fysikken, var ude af stand til at give en egentlig indsigt i psykologiske fænomener. Reaktionstids-målinger var interessante, men gav begrænset indsigt, og man indvendte, at det stadig måtte være den enkelte forskers direkte kendskab til sit eget bevidsthedsliv, såkaldt introspektion, der var udgangspunktet. Den amerikanske filosof og psykolog William James (1842-1910) var fortaler for systematisk arbejde med sådanne introspektioner. Andre mente imidlertid, at man dermed afskrev sig muligheden for videnskabelighed, idet man jo så ikke kunne gentage eller kontrollere eksperimenterne, da de i en vis forstand var private og kun kunne udføres én gang. En løsning kunne være at omdefinere psykologiens opgave fra at studere bevidsthedslivet til at studere lovmæssigheder i menneskers, eller for så vidt alle organismers, adfærd. Denne var jo objektivt observerbar. Opgaven var så at omdefinere indholdet i psykologiske begreber fra at referere til bevidsthed, oplevelser og følelser, til at referere til observerbar adfærd. Indlæring ville i sådan en tankegang ikke kunne måles i ændringer i indre mentale processer,

men i ændringer i observerbar adfærd, f.eks. den tid en organisme skulle bruge på at løse et bestemt problem såsom at finde vej igennem en labyrinth.

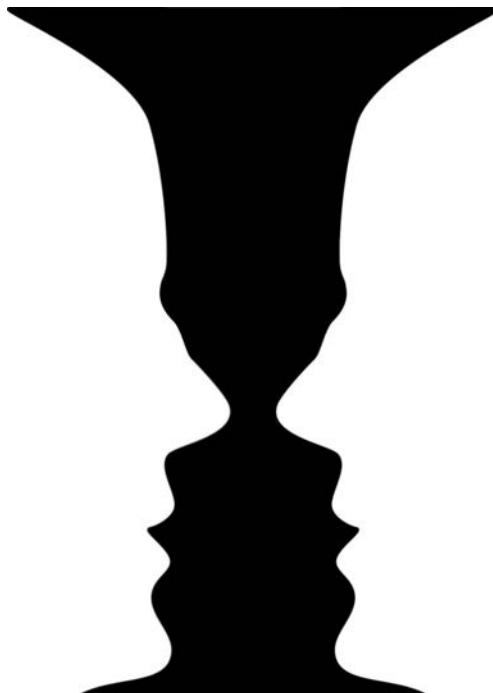
Heller ikke denne koncipering blev etableret som hoveddisciplin, og der var stadig problemer med overhovedet at definere psykologiens opgave og genstand. En række filosoffer med udgangspunkt i Wien formulerede i slutningen af 1800-tallet en ny opfattelse af psykologien, den såkaldte Gestalt-psykologi. De mente, at psykologien skulle beskæftige sig med det mentale, det psykiske, ikke med adfærd. Og ikke mindst skulle det ske videnskabeligt og med andre metoder end blot introspektion – eksperimenter skulle indgå, så man kunne dokumentere og teste sine teorier. Det skulle dog ikke nødvendigvis være eksperimenter i form af målinger, kvalitative eksperimenter var også acceptable. Gestalt-teoretikerne hævdede, at der var klar og endda eksperimentel evidens for, at det mentale indhold i menneskets bevidsthed var resultatet af en række specifikt psykologiske processer. Ved hjælp af en række elpærer, der blev tændt og slukket i en bestemt orden, kunne man frembringe oplevelsen af en lysende prik i bevægelse. Det er for så vidt samme fænomen, der udnyttes inden for film, hvor man med en række adskilte billeder kan frembringe illusionen af bevægelse. Hovedpointen er, at det psykologiske fænomen er forskelligt fra det fysiske – virkeligheden svarer ikke til oplevelsen – og Gestalt-psykologerne fremhævede det forhold, at der var særlige lovmæssigheder, der var gældende for dannelsen af det psykologiske, som ikke kunne forklares ud fra fysiske eller fysiologiske lovmæssigheder. Der fandtes således en række særlige psykologiske *love*, og det var psykologiens opgave at finde disse og eventuelt gøre dem praktisk anvendelige, f.eks. inden for læring.

Grundlæggeren af Gestalt-psykologien var den østrigske filosof Christian von Ehrenfels (1859-1932), der allerede i 1890 skrev en afgørende artikel om ”Gestalt-egenskaber”, hvor han fremhævede oplevelsen af en melodi som eksempel på en sådan egenskab. Selve sansningen af lyd er en fortløbende række af øjeblikke, men oplevelsen af en melodi er oplevelsen af en helhed, der strækker sig længere end et øjeblik. Sådanne helheder dannes efter bestemte psykologiske love og muliggør en utrolig variation og evne til genkendelse.

I de første årtier af 1900-tallet var psykologien blevet etableret som en selvstændig videnskab, og man havde holdt den første internationale psykologi-kongres i 1899. Der var dog stadig vidt forskellige bud på, hvad det var eller burde være for en slags videnskab. Det afspejlede måske først og

Den danske professor i eksperimentalpsykologi Edgar Rubin (1886-1951) udtænkte en lang række visuelle trick-billeder. De beskæftigede sig bl.a. med det psykologiske fænomen ”figur-grund”, der handler om, at man aldrig kan opleve en figur uden samtidig at opleve dens baggrund. Denne ”Rubin-vase” kan enten opleves som en vase eller som to profiler – men de to synsindtryk kan aldrig opleves samtidig. Rubin foretog en lang række af sådanne fænomenologiske undersøgelser af menneskets perception, og hans *Synsoplevede Figurer* (1915) fik stor betydning for Gestalt-psykologien i Danmark.

fremmest en dyb usikkerhed om, hvad mennesket overhovedet var for noget: en organisme som alle andre, underkastet fysisk-kemiske love samt måske darwinismens udviklingsvilkår, måske dertil et åndeligt væsen, med særlige dele – bevidstheden – underlagt egne love, eller noget helt andet igen?



Den østrigske læge Sigmund Freud (1856-1939) opholdt sig i 1880’erne i en længere periode hos fornævnte Charcot i Paris og i en kort periode hos Bernheim i Nancy. Han arbejdede med hysteriske tilfælde, bl.a. sammen med lægen Josef Breuer (1842-1925), der også anvendte hypnotiske teknikker. Freud var egentlig i gang med en videnskabelig karriere baseret på fysiologi, men interesserede sig også for nervesystemet og dets lidelser. På den tid var der en vældig interesse i at forstå sammenhængen mellem nervesystemet, specielt hjernen, og de psykologiske fænomener. Mange forskere forsøgte at lokalisere bestemte psykologiske funktioner til bestemte områder i hjernen og at forstå de grundlæggende træk ved nervesystemets og hjernens funktion, og Freud havde studeret træk ved sproget, specielt tabet af taleevne, afasi, og en række andre neurologiske fænomener, herunder hypnose.

I 1896 formulerede Freud et første forsøg på en sammenhængende teori, der baserede sig på, hvad man vidste om nervesystemets opbygning og funktion, og derudover på et dynamisk synspunkt, der opfattede det psykiske system som et system gennemstrømmet af former for energi, der opførte sig som andre energetiske systemer. Breuer og han var på dette tidspunkt grundlæggende af den opfattelse, at psykiske fænomener kunne forklares ud fra egenskaber ved nervesystemet.

Senere begyndte Freud imidlertid at tillægge det symbolske mere og mere vægt, og i 1900 publicerede han et større værk, *Drømmetydning*, der baserede sig på en helt ny opfattelse af forholdet mellem mennesket som organisme og mennesket som bevidst og handlende væsen. Her var ikke længere nogen eksplisitte antagelser af, at de behandlede mekanismer og processer faktisk var fysiske processer i et nervesystem. Teorien var en egentlig psykologisk teori.

Freud kaldte sin teori og praksis for “psykoanalyse”, i analogi med den kemiske analyse, der både kunne blotlægge en kemisk substans’ delelementer og løse praktiske problemer. Psykoanalysen var således både en bestemt måde at håndtere en række lægelige problemstillinger på, en form for psykoterapi, og en mere grundlæggende teori om det psykiske og dets relation til menneskets udvikling, organismens konstitution og mulighederne for fejl og anormaliteter, såkaldte psykiske sygdomme. Med Freud fik begreber som “det ubevidste”, “seksualitet” og “drift” helt nyt indhold, ligesom problemstillingen om, hvad studiet af psykiske fænomener egentlig skulle gå ud på, blev sat i en ny sammenhæng.

Freud definerede psykoanalyse som en særlig form for forståelse af neurotiske fænomener, der skulle bidrage til at gøre det ubevidste bevidst. Dermed ville man både kunne helbrede visse former for sindssygdom, men også opdage væsentlige forhold knyttet til menneskets væsen som bevidst og handlende væsen. Freud knyttede erfaringer med hypnotisk behandling sammen med teorier om menneskets mentale indretning. Derudover fremlagde han en dynamisk teori, dvs. en teori om, hvordan menneskers mentale indhold og handlinger fremkom som resultat af indre kræfter og ydre påvirkninger.

Her skal ikke gås i detaljer med Freuds udvikling eller hans mange teorier. Hovedpointen er, hvordan han og psykoanalysen bidrog afgørende til dannelsen af vores begreb om, hvad et menneske er. Det er lang mere komplekst struktureret end blot en mekanisk krop, der fungerer efter fysisk-kemiske principper, eller en sådan krop udstyret med en bevidsthed – en sjæl – der selv er en art psykisk mekanisme. Det mentale begrænser sig ikke til det bevidste. Bag dette ligger det ubevidste, og det spiller en afgørende rolle for vores bevidste ageren og påvirker vores handlinger på mangfoldige måder. Det ubevidste er tæt forbundet med processer som fortrængning og forsvar. Det vil sige, at visse former for bevidsthedsindhold fjernes fra bevidstheden og lokaliseres et andet sted, men at det samtidig stadig er aktivt. Det kan så

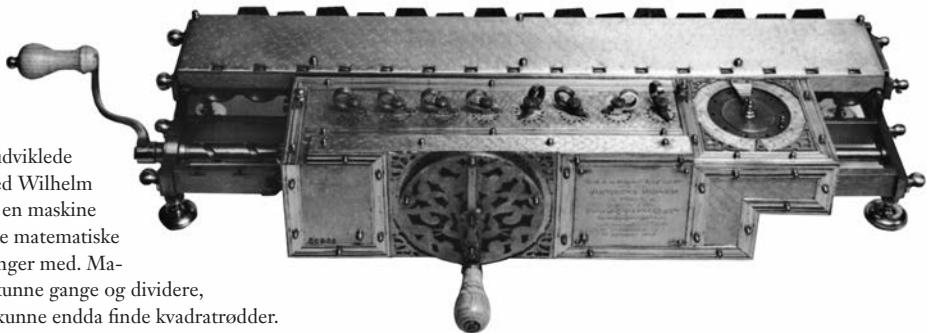
vise sig indirekte, i forandret form, som f.eks. neurotiske symptomer eller fejlhandlinger. Det ubevidste er imidlertid ikke bare en art skjult bevidsthed, men er knyttet til træk ved mennesket, der er kropslige, og fungerer efter andre lovmæssigheder, "primærprocesserne". De "love", som er nogle helt andre end logikkens og den rationelle tænknings, var det netop den psykoanalytiske teoris opgave at redegøre for.

Dermed var selve ideen om eksistens af egentlige psykologisk betingede sygdomme, der selv var af psykologisk natur, etableret. Disse skulle opfattes psykologisk, knyttet til et menneskes oplevelser og samspil med andre mennesker, og skulle behandles på samme måde. Ved gendannelse, gentagelse og forståelse af skjulte betydninger, var det – under medvirken af et andet menneske, en terapeut – muligt at forme sig selv på ny, på en måde hvor de psykologiske sår var helet. Det var psykoterapi. Psykoanalysen blev således det bedste eksempel på en teori om psykologisk betingede sygdomme og deres behandling. Psykoanalysen blev dog ikke kun en lægevidenskabelig og psykologisk disciplin, men fik langt bredere betydning for forståelsen af kunst, sprog, og samfundsmæssige fænomener. Tidligere teoridannelser havde naturligvis også haft konsekvenser for f.eks. kunstnerisk praksis, men psykoanalysen fik på en helt unik måde direkte betydning for en ny kunstopfattelse, nemlig surrealismen, både inden for billedkunst og litteratur.

## Hvad er et tal?

Også matematikken gjorde i 1800-tallet meget store fremskridt og blev for alvor en selvstændig disciplin. Franskmanden Évariste Galois (1811-32) grundlagde gruppeteorien, man arbejdede bredt med analysen, og geometrien fik nyt liv og nyt grundlag. Men der viste sig også sprækker i fundamentet. Besad man en reel forståelse af, hvad det egentlig var, man arbejdede med? Hvad var egentlig substansen i den matematiske viden? Det bekymrede nogle, at man tilsyneladende ikke kunne give særligt gode svar. Især det fundationale begreb om "tal" blev genstand for interesse. Flere mente, at matematikken måtte være af en anden art end de rent empiriske videnskaber. Selvom man forsøgte at forstå matematikken som empirisk, begyndte man også i visse kredse at anse den som en erkendelse af den type, som Kant havde kaldt *a priori*, dvs. forud for erfaringen.

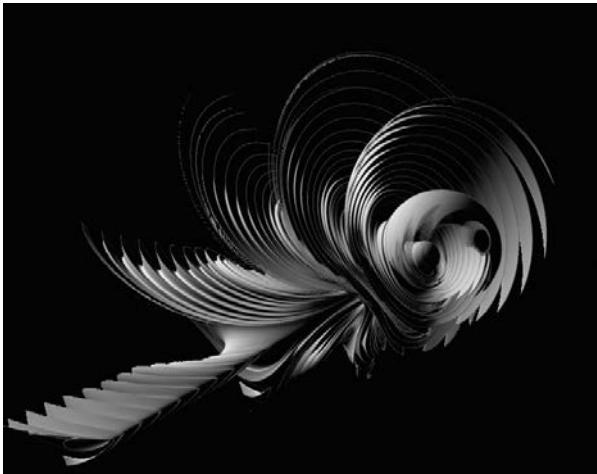
Siden man begyndte at tælle, har man primært betragtet tal som noget,



I 1673 udviklede Gottfried Wilhelm Leibniz en maskine til at lave matematiske beregninger med. Maskinen kunne gange og dividere, og den kunne endda finde kvadratrødder. Den blev brugt af matematikere og bogholdere. Her ses en rekonstruktion fra 1923.

der var knyttet til et antal af enheder. Man talte f.eks. sine får. Men man har også brugt tal til at måle med, f.eks. når man vejede noget. Hvis det bestod af små ting, såsom korn, kunne man i princippet sige, at man vejede ved at tælle antallet af korn – under den antagelse, at de alle var identiske. Men hvis man målte en væskes mængde eller vægt, eller bare et linjestykkes længde, var det mere uklart, hvad man egentlig talte. Man kunne fastsætte en enhed, som man så målte med. Men denne enhed kunne i princippet være vilkårligt lille. Længden af et givet linjestykke ville så blive udtrykt med større og større tal, når enheden, man målte med, blev mindre og mindre. Men længden var selvfølgelig den samme, bare udtrykt med et andet tal. Det var også væsentligt ved tal set som antal, at man ikke løb ind i et største tal – der kunne være ubegrænset mange tal. Tilsvarende kunne et givet linjestykke opdeles i ubegrænset mange dele eller enheder, der så blev ubegrænset små. Forholdet mellem tal og mål havde optaget matematikere og filosoffer siden antikken. Dér havde man indset, at et så simpelt forhold som forholdet mellem siden i et kvadrat og diagonalen ikke kunne udtrykkes som forholdet imellem to hele tal. Tilsvarende gjaldt også om forholdet imellem længden af en cirkels omkreds og den samme cirkels diameter, det forhold, man så betegnede med udtrykket  $\pi$ . Siden man i 1600-tallet begyndte at erstatte geometriske metoder i beskrivelsen af naturen med aritmetiske – og specielt siden Isaac Newton (1642-1727) og Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) udviklede analysen, dvs. studiet af kontinuerte fænomener som f.eks. bevægelse med matematiske metoder – havde man frembragt mere og mere avancerede teknikker til håndtering af fysiske fænomener. Man kunne udtrykke dette i formler, der i en vis forstand hvilede i sig selv. Men disse formler kunne kun relateres til observationer via målinger, og målinger resulterede typisk i tal.

Quaternioner blev første gang beskrevet af den irske matematiker William Rowan Hamilton (1805-65) i 1843 i et forsøg på at udvikle en notation for komplekse tal i højere dimensioner. En quaternion består af et reelt tal og tre komplekse tal og kan danne meget komplikerede firedimensionale fractal former, hvis man programmerer dem ind i en computer i dag. Her ses et forsøg af den tyske kunstner Thorsten Fleisch (f. 1972) i filmen *Gestalt* fra 2003. Quaternioner blev senere erstattet af vektor- og matrix-notationer og bruges i dag kun inden for computergrafik til at rotere 3D-objekter med. Thorsten Fleisch, [www.fleischfilm.com](http://www.fleischfilm.com).



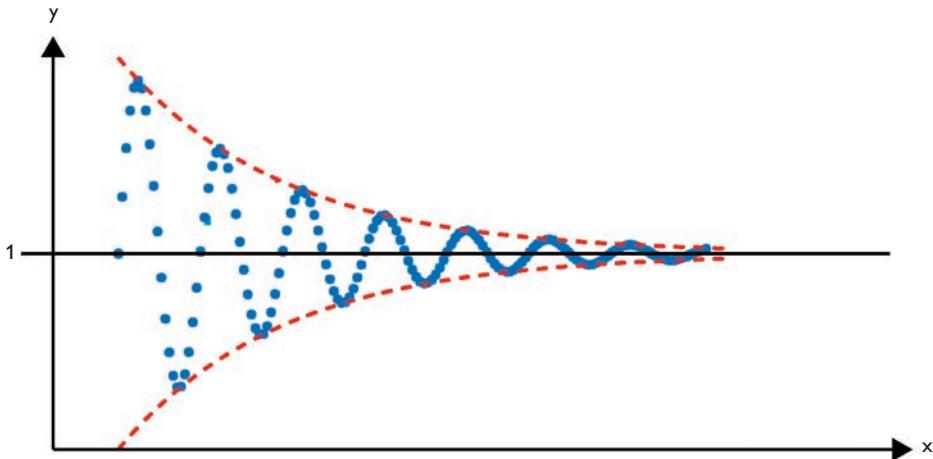
I midten af 1800-tallet var det blevet klart, at man reel ikke forstod, hvad tal egentlig var for noget. Man arbejdede med mange forskellige former for tal – hele tal, negative tal, rationelle tal, irrationale tal, komplekse tal og sågar noget man kaldte quaternioner – og samtidig arbejdede man med begreber som længde og størrelse af et areal, der jo netop kunne variere kontinuert og dermed antage en vilkårlig størrelse.

Det er umiddelbart ret let at indse, at hvis man spørger om, hvor mange længder, der kan være mellem 0 og 100 meter, så er svaret uendeligt mange, for man kan ikke angive en mindste størrelse, som en sådan længde skulle kunne opdeles i. Man kan altid finde yderligere. Hvis man ønsker at udtrykke disse længder som tal og opfatter disse som en proportion, f.eks. som forholdet mellem en enhed og antallet af gange, denne enhed går op i længden, så er antallet også uendeligt, men der er stadig mange længder, som faktisk kan forekomme, som man ikke får med. Eksempelvis hvis man opdeler 100 meter i to dele på hver 50 meter, og så afsætter en længde ud fra nulpunktet svarende til længden af diagonalen i et kvadrat, hvor hver side er 50 meter. Ud fra Pythagoras' (ca. 580-500 f.v.t.) læresætning vil længden være  $\sqrt{500}$ , og den er igen identisk med 10 gange  $\sqrt{5}$ , der er et irrationaltal, dvs. at det netop ikke kan udtrykkes som en brøk. Der er altså ikke noget forhold mellem tal, der kan udtrykke denne længde. Ikke desto mindre arbejdede man flittigt i de matematiske formuleringer af videnskabelige teorier med funktionelle sammenhænge, som, hvis de skulle have empirisk mening, måtte kunne knyttes sammen med tal via målinger. Yderligere havde man

traditionelt en teori om måling, der sagde, at en sådan netop var et udtryk for det antal af gange, en given enhed kunne anvendes eller bruges på det, der måltes. Når man målte en længde, gik man ud fra en enhed – f.eks. en meter – og målingen bestod så i at finde ud af, hvor mange gange meteren gik op i den givne længde. Man kunne netop derfor udtrykke det som en proportion, som en brøk. Men man kunne tit komme ud for, at det antal så at sige ikke var et tal.

De problemer, som man havde haft, siden Leibniz udarbejdede hvad han kaldte infinitesimalregning, dvs. med at opfatte differentiering og integrering som regning med en særlig slags små, uendeligt små, størrelser (se s. 118) – dem begyndte man at kunne se løsninger på i begyndelsen af 1800-tallet. Franskmanden Augustin Louis Cauchy (1790-1857) formulerede en opfattelse af differentiering og integrering, der baserede sig på, at der var tale om relationer mellem funktioner og egenskaber ved disse. Det centrale begreb for ham var ”grænse” i den betydning, at vi kan nærme os en grænse, men ikke overskride den, dvs. vi kan komme vilkårligt tæt på. Det væsentlige var, at han forsøgte at definere dette, uden at skulle tale om uendeligt små størrelser eller regne med dem. Dette involverede distinktionen mellem, at noget er uendeligt, og at noget er ubegrænset. At sige, at der er uendeligt mange tal, er at tale om dem alle sammen – uendeligt mange af dem. Men at sige, at der er ubegrænset mange, er at sige, at lige gyldigt hvilket tal, der kommer på tale, så er det altid muligt at angive et tal, der er større. I tilfældet med definition af grænseværdi-begrebet drejede det sig så om at gøre en forskel, ikke uendeligt lille, men vilkårligt lille – i betydningen at der altid ubegrænset kunne findes en forskel, der er mindre. Taler vi om tallet 1, kan vi altså angive en brøk, f.eks.  $\frac{128}{129}$ , der er meget tæt på 1, men  $\frac{1128}{1129}$  er tætttere på osv. Det interessante er nu, at også her gælder, at selvom vi har mange af den slags tal, der nærmer sig 1, så er der også her mange, vi ikke får med, selvom vi altså taler om en ubegrænset serie af tal, der nærmer sig til 1, og hvor forskellen mellem tallet og 1 kan gøres vilkårligt lille.

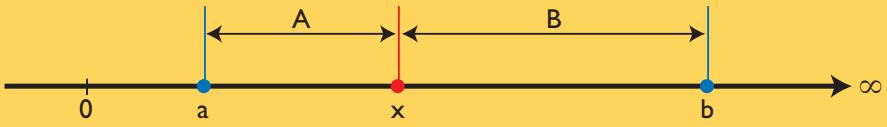
Helt op til midten af 1800-tallet tænkte man om tal i to begrebsrammer. Den ene var aritmetisk, det var tal til at tælle med, og den anden var geometrisk, og havde med kurver at gøre. Fra og med midten af 1800-tallet forsøgte flere og flere matematikere at give en fuldstændig forståelse af analysen, dvs. infinitesimalregningen, ved hjælp af klare aritmetiske begreber. Man ønskede altså at få den aritmetiske og den geometriske forståelse



til at hænge sammen. Den tyske matematiker Richard Dedekind (1831-1916) ydede en afgørende indsats i denne bestræbelse. Hvis en linje bestod af uendeligt mange punkter, og der var flere punkter, der lå i en afstand fra nulpunktet, end der var punkter, som kunne udtrykkes med rationelle tal, dvs. med brøker, så kunne de, der ikke var brøker, forstås som grænser for serier af brøker, der nærmede sig vilkårligt tæt til dem. De såkaldte irrationale tal var således at forstå som grænseværdier, og de eksisterede på samme måde som andre grænseværdier.

Dedekind udviklede, hvad der var en teori om de reelle tal. Det er de tal, der kan udtrykkes som længder af linjestykker, og som man kan skrive som uendelige decimalbrøker, men hvor man altså kan komme i den situation, at et givet tal på denne form faktisk aldrig fuldt kan nedskrives, da man jo ikke kan skrive en uendelig lang serie af cifre, men altid kan skrive et tal, der er vilkårligt tæt på det tal, man egentlig ville skrive. Tallet  $\sqrt{2}$  eller tallet  $\pi$ , der jo begge "geometrisk set" har klare definitioner, kan f.eks. aldrig med et endeligt antal cifre skrives ned. En anden væsentlig grund til, at man i højere grad begyndte at tænke aritmetisk om tal, var, at man forstod dem som løsninger til ligninger – ligninger af alle mulige slags.  $\sqrt{2}$  er som bekendt løsning til ligningen  $x^2 = 2$ , der jo bare geometrisk siger, at vi søger længden af diagonalen i et kvadrat med siden 1, ligesom  $\pi$  er forholdet imellem længden af en-

For at give mening til konceptet om en grænseværdi udviklede Cauchy nogle bestemte matematiske sekvenser. Det var nogle ordnede lister af elementer  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , som har den egenskab, at de konvergerer mod et bestemt tal. Her ses en Cauchy-sekvens i blåt, som for stigende  $n$  har en "ultimativ destination", dvs. en grænse, i værdien 1.



Matematikkens standard-definition af de reelle tal, dvs. alle tal undtagen komplekse tal, er det såkaldte Dedekind-snitt, publiceret i 1872. Det siger, at hvis alle punkter på en lige linje falder i to klasser, A og B, hvor den ene klasse ligger til højre for et bestemt punkt x, og den anden klasse ligger til venstre for samme punkt x, så eksisterer der kun et punkt, nemlig x, som definerer snitpunktet for de to klasser. Hvis snittet producerer et rationelt tal, har vi hermed defineret det. Hvis det ikke producerer et rationelt tal, men falder mellem to rationelle tal, definerer vi det som et irrationaltal.

hver cirkels omkreds og længden af samme cirkels diameter. Dedekind nåede sine resultater allerede i 1858, men da det var ret kontroversielle resultater, publiceredes de først i bredere kredse i 1872.

Dedekinds forskningsprogram med at udtrykke de væsentligste matematiske begreber i de teorier, der anvendtes til beskrivelse af forhold i naturen i form af aritmeti-

ske operationer på tal, førte så til en analyse af begrebet tal. For man måtte jo starte med de naturlige tal 1,2,3,4..., og hvad var det egentlig for noget? Dedekind indså, at man kunne definere disse ved at antage, at i hvert fald tallet 1 var et tal, og at der fandtes en funktion, der som sit input kunne tage et tal og som output levere et nyt, der også var et tal, og hvor der var lagt en enhed til. Hvis man altså startede med 1, så ville man få, at funktionen – lad os kalde den S – ville levere et tal, S(1), der så kunne kaldes 2, og da det var et tal, kunne det indgå, og man kunne tale om S(2), der så var 3 osv. Denne proces kunne køre ubegrænset. Men alt dette ser ud som om, vi alligevel definerer og analyserer tal med tal.

Samtidig med Dedekind havde matematikeren Georg Cantor (1845-1918) udviklet en ny art matematisk teori, mængdelæren, der ikke udtalte sig om tal, men i al almindelighed om ansamlinger af genstande eller objekter. Det afgørende var, at man kunne operere med mængder uden at kende antallet af deres elementer. F.eks. kunne man afgøre, om to mængder havde samme antal elementer uden at behøve vide, hvor mange der var. Cantor kunne endda definere, hvad det ville sige, at der var uendeligt mange elementer i en mængde: nemlig at en sådan mængde havde del-mængder med lige så mange elementer som selve mængden. Et eksempel er jo, at i mængden af naturlige tal er der masser af delmængder, f.eks. mængden af lige tal, der også er uendeligt mange af. Endvidere kunne Cantor vise, at

en mængde af elementer altid har flere delmængder, end der er elementer i mængden, hvilket ville sige, at en uendelig mængde af elementer, f.eks. de naturlige tal, havde flere end uendeligt mange delmængder. Det forekom besynderligt. Men med mængdeteorien kunne Cantor og Dedekind definere – vi kunne også sige konstruere – de naturlige tal ud fra antagelsen om, at der fandtes bare én genstand i verden og også den mængde, som havde netop denne genstand som sit element. For hvis der var en genstand, så var der også en mængde med denne genstand som element. Men hvis en sådan mængde fandtes, så var det en ny genstand, og denne kunne så være element i en ny mængde osv. Den første mængde kunne vi kalde 0, den næste 1 og den næste igen 2 osv. Da de hele tiden ville være delmængder af hinanden, fik man en serie af mængder, der var ordnet. Man kunne tale om, at mængderne hele tiden havde et større og større antal elementer, og at de kunne ordnes i en rækkefølge og således tælles op. Der var således to slags tal: kardinaltal, der sagde noget om antal, og ordinaltal, der sagde noget om rækkefølge. Problemet var at finde et første element, som man kunne være sikker på eksisterede. Det blev den tomme mængde, man satsede på, for den kunne udtrykkes som mængden af genstande, der ikke var identiske med sig selv. Og det var der jo ingen genstande, der ikke var, ergo var mængden tom. Men mængden, der havde den tomme mængde som element, måtte så også eksistere, og så var processen i gang. Man kunne sige hokusokus, og tallene var definerede. Man behøvede bare mængdeteorien og lidt logik.

Det så simpelt ud, men viste sig mere problematisk, end man skulle tro (se s. 262). I de følgende årtier blev der arbejdet meget med denne type analyser af grundlæggende matematiske begreber, begreber der var så grundlæggende, at de også var afgørende elementer i vores grundlæggende forståelse af verden. Især Dedekinds og Cantors grundlagsarbejde inden for matematikken og logikken har sidenhen ført til en lang række nye og højt avancerede formelle systemer med egne symboler og transformationsregler – som kun ganske få mennesker kan forstå. ZFC-mængdelæren baserer sig for eksempel på 10 aksiomer, mens Bertrand Russell (1872-1970) udviklede den såkaldte type-teori for at undgå de værste paradoxer.

Det blev dog Gottlob Frege (1848-1925), der gav et bud på, hvordan man kunne analysere selve tal-begrebet. Dermed skabte han også en sondring mellem at bidrage til viden inden for et givet domæne, og så bidra-

ge til forståelsen af de begreber, med hvilke man udtrykte og talte om denne viden. Det blev kimen til en afgørende ændring af forståelsen af forholdet mellem empirisk videnskab og filosofisk refleksion, eller analyse, som det kom til at hedde.

## Den sproglige vending i filosofien

Den matematiker og filosof, som mere end nogen anden forsøgte at afklare begreberne, var tyskeren Gottlob Frege. Han er central, fordi han ses som den første teoretiker, der foretager det, der er blevet kaldt “den sproglige vending”. Han forsøger at løse problemer ved omhyggelig og detaljeret analyse af begreber og sprog, ved at gøre sig klart, hvad det egentlig er, vi siger og gør, når vi tænker. Han forstår ikke tænkning som en psykologisk aktivitet. Det, der interesserer ham, er derimod at afdække de logiske sammenhænge, der ligger bag, hvad vi siger, og de strukturer, der ligger i dette. Han betegnes ofte som filosoffernes filosof, da han er en uhyre krævende tænker, der bevæger sig på et uhørt højt teknisk og abstrakt niveau. Han formulerer nogle centrale teoretiske standpunkter, der er aldeles overraskende. De er karakteriseret dels ved, at nogle af dem er blevet stående som væsentlige filosofiske standpunkter, og dels ved, at det har været muligt at vise, at andre er forkerte.

Frege er således en filosof og teoretiker, der foretager monumentalt væsentlige fejtagelser. Det er disse væsentlige fejtagelser, efter tiden lærer af. På den måde er udviklingen omkring Frege også et alternativ til hans kollega Friedrich Nietzsches (1844-1900) opfattelse, at filosofien blot erstatter det ene sæt af metaforer med det andet – uden at der i egentligste forstand vindes ny erkendelse. Rent fagvidenskabeligt er han grundlæggeren af den moderne logik, den såkaldte matematiske logik, idet han ønskede at bedrive logik på samme måde, som man bedrev matematik. Men han mente bestemt ikke, at logik var matematik – derimod mente han, at matematik var logik. Freges projekt gik ud på at aflede hele aritmetikken og analysen fra logikken – han var “logicist”. Han mente heller ikke, at logik havde noget med psykologi at gøre, tværtimod måtte psykologien også opfylde logikkens love. Således var tænkning ikke en indre håndtering af mentale entiteter – begreber – eller erkendelse via repræsentation af den ydre verden. Han var altså også imod det erkendelsesteoretiske projekt, som blev startet af Descartes (1596-

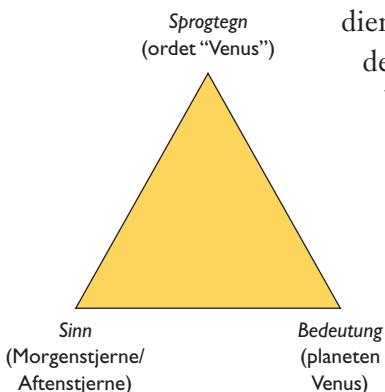
1650). Matematik var logik, og logik var studiet af objektive sammenhænge, som vi som mennesker havde adgang til at erkende. Dermed kan man sige, at han faktisk var noget så ”gammeldags” som platonist. Det skyldtes først og fremmest, at han mente, at de fundamentale matematiske begreber kun gav mening, hvis man opfattede dem som refererende til genstande. Det fundamentale begreb var tal, og det betød for Frege, at hvert tal var en genstand for sig selv. Når man tænkte på tallet syv, tænkte man på noget, og det, som en anden tænkte på, når vedkommende også tænkte på tallet syv, var netop samme genstand. Det samme var tilfældet, når man talte eller skrev om tallet syv. Det kunne man gøre på mange måder, med forskellige notationer eller i forskellige sprog. 7, VII, syv, sept, antallet af dage i ugen, alt sammen refererer til ét og samme tal – så det virkede overbevisende at hævde, at der måtte være noget, som der refereredes til.  $3+4$  kan også siges at referere til syv. Frege udvidede dog dette. I et udsagn som  $3+4 = 7$  siges det, at de to sider af lighedstegnet refererer til det samme, og i tilfælde, hvor det var sandt, mente Frege, at det samlede udsagn refererede til et yderligere objekt kaldet ”Det Sande”. Havde der stået  $3+2 = 7$ , så havde den ene side refereret til tallet fem og den anden til tallet syv, og hele udsagnet havde refereret til ”Det Falske”.

Frege talte ikke om mængder, men om klasser. Enhver klasse havde et bestemt antal medlemmer. Det betød, at der kunne dannes en klasse af de klasser, der havde samme antal medlemmer. Dermed ville der være en klasse af de klasser, der ingen medlemmer havde, en klasse af de klasser med ét medlem osv., og det var jo netop tallene. Freges løsning var altså, at tal var klasser af klasser med samme antal medlemmer. Der var ikke tale om en cirkulær definition, da man jo kunne definere, hvad det vil sige at have samme antal medlemmer uden at kunne definere hvor mange. Dernæst kunne man vise, at sådanne klasser eksisterede og havde karakter af at være genstande. Det vil sige, at man kunne tale om dem, vide noget om dem, men også at man for at kunne det måtte benytte sig af et sprog, der indeholdt andet end reference til genstande. Man måtte kunne sige noget *om* disse genstande, ikke bare referere til dem. Det er ikke nok at kunne sige ”Fido”, man må – for overhovedet at sige noget – sige noget i retning af: ”Fido er en hund” eller ”Fido, kom her!” Ord har for Frege kun mening i en sammenhæng, og den sammenhæng er sætninger. Når Frege analyserede en sætning, gjorde han det ikke grammatisk, men logisk. Det vil sige, at en sætning som ”H.C.

Andersen skrev ‘Snedronningen’ ikke blev analyseret i subjekt og prædikat. Frege mente, at der snarere var tale om en logisk funktion: “x skrev ‘Snedronningen’”, der ved værdien “H.C. Andersen” indsat for x gav en sætning, hvis funktionsværdi var “Det Sande”. Hvis man satte “Karen Blixen” ind, ville funktionsværdien være “Det Falske”. Den logiske form var altså ikke  $xRy$ , hvor R var en relation “x skrev y”, og hvor x og y kunne så tage værdierne “H.C. Andersen” og “Snedronningen”, men formen  $F(a)$ , hvor  $F(x)$  var en funktion og a en konkret værdi, som så gav en funktionsværdi. “H.C. Andersen” refererede til en genstand, men “... skrev ‘Snedronningen’” refererede til, hvad Frege kaldte et begreb. At sige noget med talord, f.eks. “Ugen har syv dage”, er at sige noget om et begreb, nemlig at begrebet “ugens dage” har en bestemt egenskab, dets ekstension, som er identisk med ekstensionen af tallet syv, dvs. at “ugens dage” er et element i klassen af klasser, der har syv elementer. Samme analyse kan gives til “Jorden har én måne” og alle andre former for brug af talbegrebet.

Frege blev hurtigt klar over, at “betydning” forstået som reference til noget ikke var et simpelt fænomen. Han mente, man måtte skelne mellem to typer af betydning. Den første var, når der blev refereret til en genstand – det kaldte han “Bedeutung”. Den anden var, når der var knyttet en mening til et ord – det kaldte han “Sinn”. Hans eksempel var, at ordene “Morgenstjerne”, “Aftenstjerne” og “Venus” alle refererer til samme genstand, men har forskellig *mening*. Det samme gælder “Forfatteren til ‘Snedronningen’”, “Forfatteren til ‘Tinsoldaten’” og “H.C. Andersen”. Der sker farlige ting, hvis man blander kategorierne sammen. For hvis man tager det for givet – og det er naturligt for en matematiker – at to ord, der refererer til

samme genstand, kan byttes ud, uden at sandhedsværdien eller korrektheden i et argument ændres, så går det galt. Eksempelvis er der ikke tvivl om, at “København” og “Hovedstaden i Danmark” refererer til samme genstand. Derfor kan man skrive:



Frege forsøgte også at skabe klarhed i sprogfilosofien ved at adskille begreberne ved deres logiske egenskaber. Her ses Freges semantiske trekant, der adskiller ordene “Morgenstjerne”, “Aftenstjerne” og “Venus” alt efter den mening, de indeholder, selvom de alle tre refererer til samme genstand.

## København = Hovedstaden i Danmark

Så hvis man siger:

København ligger på Sjælland  
Sjælland er tæt på Sverige  
Ergo er København tæt på Sverige

Så kan man erstatte “København” med “Hovedstaden i Danmark” uden at ødelægge udsagnet. Men hvis man siger:

Peter ved, at H.C. Andersen er forfatteren til “Tinsoldaten”  
Forfatteren til “Tinsoldaten” = Forfatteren til “Snedronningen”  
Ergo ved Peter, at H.C. Andersen er forfatteren til “Snedronningen”

... så er det ikke nødvendigvis et korrekt argument, for Peter ved muligvis ikke, at H.C. Andersen skrev både “Tinsoldaten” og “Snedronningen”. Så i den slags argumenter kan man ikke opføre sig som om, det eneste, der talte, var hvilke genstande, der blev talt om. Man må også tage hensyn til indholdet, *meningen*, med de ord, vi bruger – og ikke mindst vide, at de bruges i en sammenhæng, hvor de ikke kun refererer til genstande, men også til forhold ved disse genstande og de sætninger, hvori de indgår. Det er jo det, der er indholdet, når vi siger noget om, hvad – og hvad ikke – Peter ved noget om. Simple sprogelementer som navne, egenskaber, sætning, betydning osv. viste sig for Frege at rumme meget større kompleksitet, end man indtil da havde antaget.

Frege publicerede lige omkring år 1900 hovedresultaterne af sit arbejde. Han forsøgte ved præcise analyser og en metodisk fremgangsmåde at aflede alle aritmetikkens læresætninger fra forudsætninger, der var rent logiske. For at kunne vise, at tal var genstande, måtte Frege kunne bevæge sig fra et begreb til dets ekstension, dvs. det, der falder under begrebet. Så man måtte kunne komme fra “ugens dage” til tallet syv, og forstå tallet syv som netop en klasse af klasser. Men så måtte man kunne danne klasser. Den engelske matematiker og filosof Bertrand Russell påpegede i 1903 i et brev til Frege, at hvis man danner klasser af klasser, så kan man også danne følgende klasse:

**Klassen af klasser, der ikke er medlem af sig selv**

Men Russell viste nu, at en sådan klasse giver problemer. For hvis man antager, at den ikke er medlem af sig selv, så er den jo netop medlem af sig selv, og hvis man antager, at den er medlem af sig selv, så er den jo netop – givet klassens definition – ikke medlem af sig selv. Frege måtte sønderknust erkende, at hans projekt var baseret på en logisk inkonsistens, knyttet til selve det centrale begreb om klasser. Det var første del af sammenbruddet i Freges ellers storslæde projekt. Det næste kom i 1931, da selve forestillingen om et sæt af regler, definitioner og forudsætninger, der kunne siges at karakterisere aritmetikken entydigt, kom under angreb (se s. 268).

Frege havde med sine analyser afgørende ændret måden at filosofere på og måden at tænke om tænkning på. Filosofi blev til enten begrebsanalyse – det bedrev filosoffer som Bertrand Russell og Ludwig Wittgenstein (1889-1951) – eller til undersøgelser af forudsætningerne for tænkning og erkendelse forud for selve udfoldelsen af disse – det gjorde Edmund Husserl (1859-1938) med sin fænomenologiske analyse. Frege står på den måde som den væsentligste forløber og inspirator for helt væsentlige former for filosofi i det 20. århundrede. Den sproglige vending i filosofien, som han startede, betød altså, at man begyndte at gå væk fra at tale om tingene og i stedet begyndte at tale om, *hvordan* man taler om dem.

## Forskningsmetode

Immanuel Kant havde i slutningen af 1700-tallet forsøgt at give et svar på, hvordan en naturvidenskab overhovedet var mulig. Hvordan var forholdet mellem mennesket, dets erkendeevne og så den viden, der fremkom om naturen, for ikke at sige virkeligheden? Hans kritiske filosofi var dette forsøg, og det centrale var, hvad han kaldte en “kopernikansk vending”, nemlig at den verden, som videnskaben gav os, ikke var et billede af verden, men snarere et billede konstrueret ud fra hvordan vi som erkendende væsener var indrettede. Det billede, som mennesker lavede af verden, måtte være en newtoniansk fysik – det kunne ikke være anderledes. Ikke fordi verden var, som den er, men fordi en sådan verden er i overensstemmelse med menneskets begrebsapparat og erkendeevner. Hele 1800-tallet forsøgte forskere og filosoffer at forholde sig til, om dette var rigtigt.

Et alternativt bud var at lægge meget mere vægt på, at videnskaben baserer sig på erfaring. Det var en position, som positivismen havde. Englænde-



ren John Stuart Mill (1806-73), der var en af de første, der forsøgte et omfattende arbejde med videnskabernes metode, hældede også i den retning. Dermed opstod problemet om, hvordan det var muligt på basis af erfaring, observation og enkelte eksperimenter at fremlægge og begrunde helt generelle teorier? Det var problemet om induktion. Fandtes der en særlig videnskabelig metode, eller måske flere sådanne metoder? Mill fremlagde en række bud på, hvordan man kunne ræsonnere sig frem til årsagsforklaringer på basis af systematiske observationer, og han mente, at der i de forskellige videnskaber var en række metoder i brug. Hans store bog *A System of Logic* fra 1843 var en af de første lærebøger i videnskabelig metode. Mange andre fulgte efter, og det blev efterhånden væsentligt for filosoffer at fremlægge videnskabsmetodologier, dvs. mere generelle principper for den videnskabelige aktivitet og grundelser for hvorfor, den førte frem til viden og erkendelse.

Der udviklede sig efterhånden en række grundfæstede krav til, hvad der

John Stuart Mill mente bl.a., at kvinder burde have retten til at stemme – et meget kontroversielt synspunkt i midten af 1860’erne. Som medlem af parlamentet forsøgte han at ændre ordlyden i stemmeloven fra ”mand” til ”person”, men modtog kun latter og hån, som i denne karikatur fra *Punch* (30. marts 1867) med teksten: ”Mills logik eller Koncession for Kvinder: ’Giv plads for disse – øh – personer’”. Mills forslag blev nedstemt i House of Commons med stemmerne 76 mod 196 · CartoonStock.

burde og ikke burde ske i videnskabelig forskning. Et væsentligt element i dette var en konstant insisteren på, at fænomener skulle være målelige, for at de kunne underkastes videnskabelig analyse. Målelighed førte til etablering af kvantitative data, og disse skulle håndteres. Det førte igen til arbejdet med at etablere metoder til håndtering og evaluering af kvantitative data. Det blev til statistikken. Det var særligt spørgsmål om, hvad man kunne og ikke kunne drage af konklusioner ud fra et givet datamateriale, der var i centrum.

Et berømt og indflydelsesrigt eksperiment knytter sig til lægen Pierre Charles Alexandre Louis (1787-1872) og hans studier af åreladning omkring 1840. Louis ville gerne undersøge sammenhængen mellem sygdomshelbredelse og åreladning, der var en meget udbredt praksis. Han sammenlignede data vedrørende to grupper patienter med samme sygdom, hvor den ene blev åreladet og den anden ikke. Det var et tidligt eksempel på den såkaldt kontrollerede undersøgelse, hvori der indgår både en gruppe, der påvirkes, og en kontrolgruppe, der ikke påvirkes. Louis ville egentlig påvise den gavnlige virkning af åreladning, men hans datamateriale fra 77 patienter viste, at åreladning bestemt ikke var gavnlig, tværtimod. For at kunne afgøre om et datamateriale virkelig kunne bruges til at forkaste en teori eller hypotese, skulle man kunne sige noget om, hvor sandsynligt det var, at en given fordeling var et resultat af tilfældighed. Den fordeling, som Louis fandt, mente han ikke kunne skyldes tilfældighed, men måtte skyldes, at åreladning faktisk var skadelig.

Der udviklede sig efterhånden en lang række teknikker og en hel matematisk disciplin – teoretisk statistik – der beskæftigede sig med den slags problemer. Det blev til arsenalet af videnskabelige metoder. Det generelle træk ved dem var, at de alle drejede sig om krav til datamateriale og om mulighederne for at slutte noget om virkelighedens indretning på basis af eksperimentelle og observerede data.

Mange kulturer har haft betydelig naturvidenskabelig og matematisk forskningsaktivitet. Der var således en stor islamisk videnskabelig indsats, og Kina i Sung- og Ming-tiden var videnskabeligt og teknologisk særdeles aktiv og innovativ. Men det er i få kulturer og samfund, at der er sket en konsolidering af en videnskabelig grundholdning til, hvad der udgør viden, og hvad der kan give retningslinjer og pejlemærker for forståelse af menneskets plads i kosmos. De to væsentligste alternativer har næsten altid været filosofi og religion. De to kilder til viden skulle således være spekulation og åbenbaring.

I perioden efter Darwin, og efter at videnskab havde vist sin afgørende nytte i skabelsen af nye produkter og produktionsformer, var der basis for, at den afgørende leverandør af, hvad vi kunne kalde kognitive værdier, var videnskaben. I lange perioder siden den videnskabelige revolution i 1600-tallet havde videnskab, filosofi og religion så at sige arbejdet sammen. Nu blev der ved 1800-tallets slutning tale om, at videnskaben og dens normer og værdier blev dominerende. Den videnskabelige revolution konsoliderede sig. Dens normer om objektivitet, upartiskhed, løbende kritisk diskussion i et samfund af forskere og åbenhed om viden gennem publikationer blev almengjorte. Positivismen havde set videnskaben som en art religiøs afløser for religionen, men det afgørende var, at der blev skabt en dominerende videnskabelig kultur. Filosofien blev ikke anset for i stand til at leve egentlig viden, og hvis den gjorde det, så var den faktisk empirisk videnskab. Religionen tabte autoritet, ikke kun fordi – og måske slet ikke først og fremmest fordi – dens dogmer blev modsagt af den ene videnskabelige teori efter den anden, men også fordi dens tekster og udsagn blev underkastet videnskabelig analyse. Teologien fik følgeskab af en religionsvidenskab, der ikke var forpligtet over for åbenbaringen, men alene over for de videnskabelige normer og værdier. Bibelen blev underkastet en videnskabelig bibelkritik.

Det skulle vise sig i den følgende udvikling inden for fysik og matematik, at forholdet mellem empirisk forskning og filosofisk refleksion ikke var så simpelt endda. Den bedste empiriske teori – kvantemekanikken – rejste helt afgørende filosofiske spørgsmål og krævede en filosofisk fortolkning. Spørgsmålet om, hvad der i matematikken kunne bevises eller modbevises, rejste tilsvarende spørgsmål om sammenhængen mellem filosofi og matematik. Dette forhindrede imidlertid ikke, at den videnskabelige kultur ikke kun fik status som den, der kunne leve egentlig og pålidelig viden, men også kunne udbredes til andre samfundsområder end forskningen. Det kom til at præge 1900-tallet kraftigt. Samtidig rejste der sig dog også problemer med at klarlægge mere eksplisit, hvad det egentlig var for værdier og metoder, der var særegne for videnskaben. Var der “én videnskabelig metode”, eller var der flere? Var videnskaben en enhed, der baserede sig på en sådan metode og måske også et sæt af distinkte værdier, eller var der tale om en pluralitet af både værdier og metoder?



# 6

## Drømmen om enhed

Omkring år 1900 bestod fysikken af tre teoridannelser: den klassiske mekanik, sådan som den havde udviklet sig siden Isaac Newton (1642-1727), den elektromagnetiske teori, som James Clerk Maxwell (1831-79) havde formuleret, og termodynamikken, der blandt andre var formuleret af Rudolph Clausius (1822-88) og Lord Kelvin (1824-1907). Det var lykkedes Heinrich Hertz (1857-94) i 1888 kunstigt at frembringe elektromagnetiske svingninger, hvilket var begyndelsen til radio og tv. Wilhelm Röntgen (1845-1923) havde i 1896 opdaget de efter ham opkaldte stråler – der på engelsk kaldes “X-rays”, idet de var mystiske og svære at forstå – og Henri Becquerel (1852-1908) havde i 1896 opdaget radioaktiv stråling, som senere skulle vise sig at være yderst kompleks og bestå af tre forskellige typer. I 1897 havde fysikeren Joseph J. Thomson (1856-1940) opdaget og bestemt væsentlige egenskaber ved elektronen og dermed påpeget, at hvis der fandtes atomer – hvilket mange fysikere stadig tvivlede på – så var selv de ikke stoffets mindste dele. Verden var væsentligt mere kompleks end nogensinde før antaget.

For at kunne forklare eksistensen af elektromagnetiske svingninger, lys,

radiobølger og røntgenstråler og redeøre for deres egenskaber mente man, at universet ud over partikler og kræfterne imellem dem også måtte bestå af et stort medium, i hvilket elektromagnetiske svingninger kunne udbrede sig. Med andre ord måtte det tomme rum bestå af noget, der kunne svinge.

Helt almindelige erfaringer viser, at der må være en sammenhæng mel-

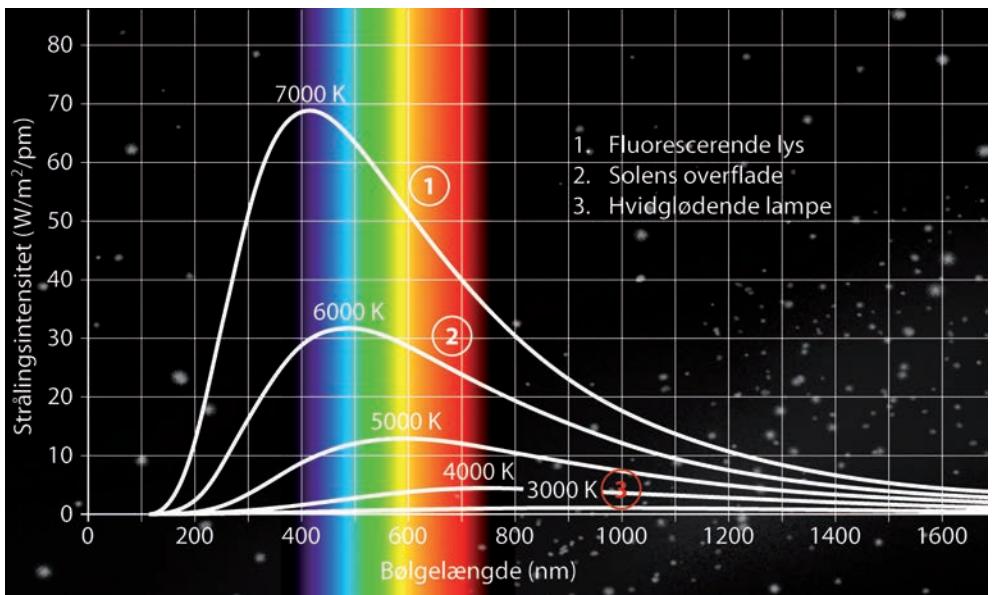
- ◀ For at fejre Hubble Space Telescopes 17-års fødselsdag offentliggjorde NASA og ESA dette billede af Carina-tågen i 2007. Det er en gigantisk glørende sky af gas, stov, energi og stjerner 7500 lysår borte. De enorme energiudladninger i Carina-tågen startede for tre millioner år siden, da en række nyfødte stjerner smelte sammen og antændte en sky af kolde brintmolekyler. Nederst i midten (markeret med stiplede linjer) kan man se en lysende sky af energi og partikler efter en supernova-lignende eruption fra dobbeltstjernen Eta Carinae i 1843. NASA, ESA, N. Smith (University of California, Berkeley) og The Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

lem fysiske egenskaber såsom en genstands temperatur og elektromagnetisk stråling. Således kan man f.eks. sidde bag et vindue i frostvejr og blive varmet af Solens lys. Og hvis man opvarmer et legeme tilstrækkeligt, så udsender det lys – man taler om, at jernet er blevet rød- eller endda hvidglødende. Lyset i en elektrisk pære kommer netop fra en lille tråd, der først bliver meget varm og dernæst stærkt lysende, når der går strøm igennem den.

Hvis man opvarmer et legeme, f.eks. en stor klods af jern, og inde i denne har et lille hulrum, hvor der ikke kommer forstyrrende lys til, kan man undersøge jernets varmestråling. Mærkeligt nok spiller det ikke nogen rolle, om der er tale om jern, sten eller glas, alene strålingens bølgelængde og de involverede temperaturer spiller en rolle for forståelsen af varmestrålingen. Til gengæld er dens opførsel yderst kompleks, og det var vanskeligt at forstå fordelingen af strålingens frekvenser og sammenhængen med temperaturen. Den tyske fysiker Max Planck (1858-1947) studerede stråling fra såkaldte sorte legemer, dvs. legemer, der ikke udsendte lys, og i året 1900 publicerede han en fortolkning af sine resultater, der bl.a. involverede, at energi kunne optræde i bestemte mængder, i såkaldte kvanter. Det var en radikal påstand, der klart stred imod den forståelse, man ellers havde af energi, nemlig at et givet materiale selvfølgelig kunne have en vilkårlig mængde energi. Energi var ifølge den klassiske fysik noget kontinuert. Nu hævdede Planck det modsatte.

Flere fysikere havde været utilfredse med tingenes tilstand i den klassiske fysik. F.eks. var Lord Kelvin og flere andre stærkt bekymrede over, at visse målinger viste, at stoffers varmefyldne var afhængig af deres temperatur, hvilket absolut var utænkeligt ud fra en klassisk fysisk forståelse, hvor man antog, at stof bestod af ens atomer, der var stoffets mindste dele. Planck viste nu, at hvis man antog, at elektromagnetisk energi kunne forekomme i kvanter, så kunne man faktisk forklare fordelingen af frekvenser i strålingen og dens afhængighed af temperaturen. Planck mente, at den eneste måde, man kunne forklare de observerede data på, hvis man i øvrigt skulle bevare helt fundationale fysiske indsigtter, var at acceptere, at energi kunne findes i kvanter.

Mange har hævdet, at publiceringen af Plancks resultater var den egentlige fødsel for den moderne fysik og det moderne verdensbillede. Planck selv var bestemt ikke begejstret for sit resultat, der stred imod alt, hvad han i øvrigt troede på – men han kunne ikke fornægte eller fortolke de



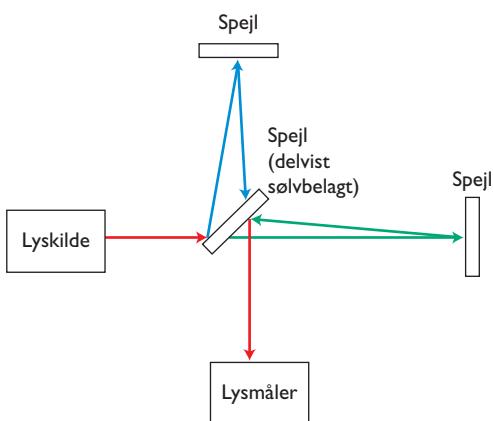
data anderledes, han havde opnået ved sine eksperimenter. Dermed startede en lang periode i videnskaben, hvor eksperimentelle og empiriske opdagelser hele tiden forekom at påtvinge nye og overraskende teorier. Disse teorier kunne man formulere matematisk, og man kunne vise, at de passede med observationer. Derfor kunne man også foretage meget vellykkede forudsigelser. Det, man ikke kunne, var at give en fortolkning af, hvad det egentlig var for en fysisk virkelighed, der gemte sig bag formlerne – hvordan verden egentlig var. Det kom dertil, hvor man måtte begynde at overveje, hvad det grundlæggende vil sige at have en teori om virkeligheden. I det 20. århundrede rejste udviklinger i fysik, matematik og logik konstant dybe filosofiske spørgsmål, spørgsmål som filosofferne havde svært ved at forholde sig til, og som også ofte gjorde naturvidenskabsmænd til en slags alternative filosoffer med brændende ønsker om at bidrage til en samlet enhedsforståelse af naturens mangeartede fænomener.

Max Plancks opdagelse af varmestrålingen har haft afgørende betydning for fysikken. I denne graf af det elektromagnetiske spektrum ses sammenhængen mellem lysets bølgelængde (x-akse) og varmestrålingen (y-akse) af et legeme. Man kan se, at forskellige legemer stråler forskelligt, alt efter deres temperatur, og kun en lille del af strålingen kan ses af det menneskelige øje, mens resten er ”usynligt lys”. Til venstre for det synlige bånd findes det ultraviolette lys og til højre det infrarøde lys, og de kan kun observeres ved hjælp af hjælpemidler som f.eks. geigertallere for gammastråling, fotografisk film for uv-lys og røntgenstråling, termokromatiske farver for infrarødt lys og antenner for radiobølger.

## Året 1905

Selvom den elektromagnetiske bølgeteori hurtigt fik teknologisk anvendelse, var der fundamentale problemer med sammenhængen mellem en mekanisk forståelse af disse fænomener og forståelsen af dem, som den forelå i James Clerk Maxwells teori (s. 181-183). Forsøg på at påvise eksistensen af en æter, der kunne bære bølgerne, var ikke lykkedes. Flere gange i 1880'erne forsøgte man at måle, om lysets hastighed på langs og tværs af Jordens bevægelse igennem rummet var forskellig – hvad den burde være, hvis Jorden bevægede sig igennem en æter, der skulle være basis for eksistensen af lysbølger. Men målingerne viste ikke nogen forskel. Lysets hastighed var den samme, hvordan man end målte den.

Normalt antager vi, at vi iagttager et fænomen fra et bestemt sted på et bestemt tidspunkt, og at det, vi iagttager, sker samtidigt med, at vi ser det ske. Vi antager også, at beskrivelsen af et fænomen kan ske fra et andet sted eller fra et andet synspunkt, uden at det influerer på, hvad der rent faktisk foregår. De fundamentale lovmæssigheder må være de samme. Et væsentligt fænomen er, at der er symmetri mellem perspektiverne. Om vi beskriver en bil som kørende hen over vejen, eller vejen som forsvindende væk under bilen, er ud fra en hastighedsbetragtning det samme. En bil kører hen over vejen med 100 km/t og overhales af en anden med 110 km/t, alt sammen set i forhold til vejen – men i forhold til bilen kører den overhalinge 10 km/t og vejen 100 km/t. Vi kan beskrive disse forhold på



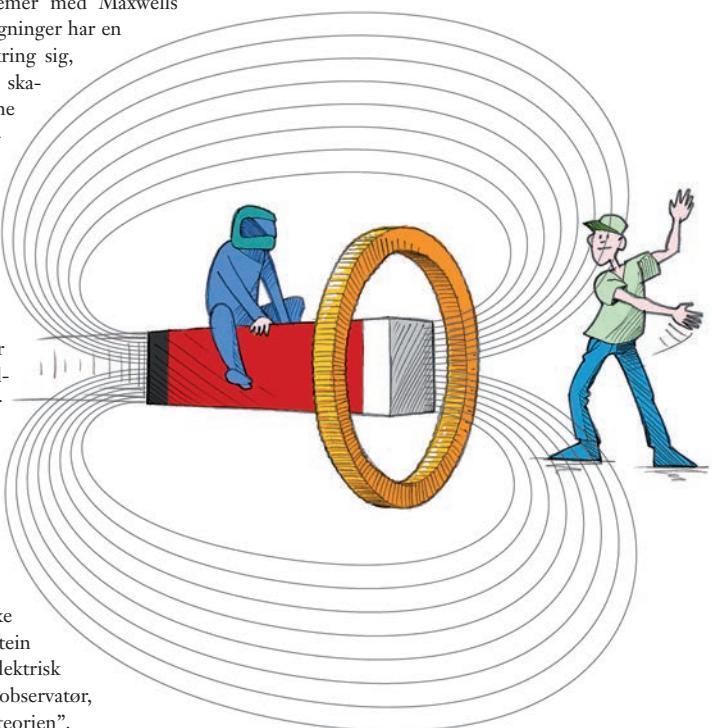
Den amerikanske fysiker Albert Michelson (1852-1931) byggede et såkaldt inferrometer til at måle æteren, som man i det meste af 1800-tallet mente eksisterede som det medium, hvori lysbølger udbredte sig. Inferometret sender en lysstråle mod et spejl, som er delvist belagt med et solvlag, således at lysstrålen deles i to. De to lysstråler bevæger sig væk fra hinanden i to arme, bliver så reflekteret af spejle og samles igen. En lysmåler mäter den opstædte interferens i den kombinerede lysstråle, der er et resultat af de varierende afstande på de to arme. Enhver lille ændring i den tid, en lysstråle bruger på vejen, vil derfor kunne ses som et skift i positionen på interferensstriberne. Hvis æteren var ens i forhold til hele solsystemet, ville jordens egen bevægelse rundt om Solen skabe en brydning i forhold til æteren – og dermed monstret, nærmere beregnet til ca.  $\frac{1}{23}$  af en enkel interferensstribe. I teorien altså. Resultatet var dog, at man ikke kunne se nogen som helst forskel, heller ikke efter Michelson byggede bedre instrumenter sammen med fysikeren Edward Morley (1838-1923). Michelson-Morley-eksperimentet anses derfor som det første bevis på, at lysets hastighed altid er den samme, og at der ikke eksisterer nogen æter.

mange måder, men antager, at de faktiske forhold er, som de er, uafhængigt af vores beskrivelse.

Den tyske fysiker Albert Einstein (1879-1955) forbavsede i 1905 verden med en række banebrydende artikler. I en af disse starter Einstein med at konstatere, at det er et afgørende problem i forståelsen af elektromagnetiske fænomener, sådan som Maxwell havde beskrevet dem, at det foreliggende fysiske fænomen var afhængigt af hvilken beskrivelse, man gav. Hvis man bevægede en induktionsspole i forhold til en magnet, opstod der strøm set ud fra spolens beskrivelsesramme, men hvis man derimod beskrev selv samme situation fra magnetens beskrivelsesramme, opstod der ikke strøm. Det kunne ikke være rigtigt. Der burde være strøm eller ikke strøm, uafhængigt af om man beskrev forholdet ud fra magnetfeltets eller spolens synspunkt. Den fysiske virkelighed burde være som den var, lige meget hvilket udgangspunkt man beskrev den fra – alle beskrivelsessystemer burde give de samme resultater.

Einstein overvejede også betingelserne for, at vi overhovedet kunne give beskrivelser af begivenheder og dermed lokalisere dem i tid og rum. Sådanne

Einstein havde produktive problemer med Maxwells elektrodynamik. Ifølge Maxwells ligninger har en magnet i hvile et magnetfelt omkring sig, men hvis magneten er i bevægelse, skalbes tilmeld et elektrisk felt. Nu kunne man jo tro, at man blot kunne måle på magneten med en lille rund induktionsspole og se, om der er strøm, og dermed om magneten bevæger sig i återen eller ej. Men det virker ikke, fordi en anden del af Maxwells teori siger, at induktionsspolen i bevægelse sammen med magneten selv skaber en elektrisk strøm, som præcis modsvarer magnetens. Man kan derfor ikke finde ud af, om der er strøm i spolen, fordi der i den situation ikke findes nogen måde at finde ud af, om magneten er i bevægelse eller i hvile. En person, som står og ”hviler i återen”, ville kunne måle en strøm, men en person, som ridder på magneten, ville ikke kunne måle nogen strøm. For Einstein var ideen om, at eksistensen af en elektrisk strøm var relativ i forhold til en observatør, ”årsagen til at postulere relativitetsteorien”.

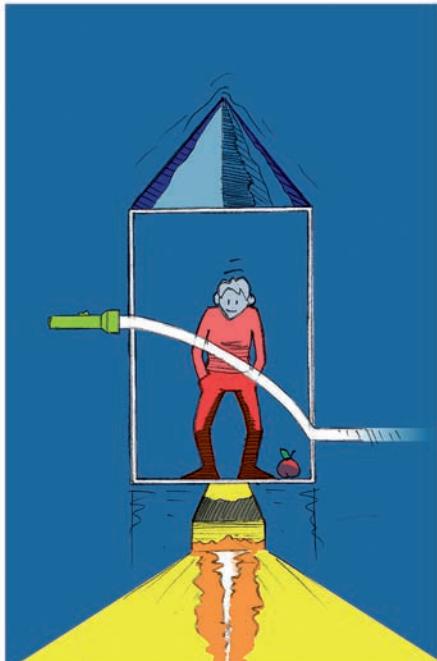




beskrivelser forudsatte – og var faktisk selv begivenheder i – tid og rum. Når man f.eks. hævdede, at en kugle faldt ned fra et bord kl. 23:05:15, så var det faktisk en påstand om, at to begivenheder var samtidige, nemlig kuglens fald og urets visen 23:05:15. Men sådan en påstand forudsatte jo, at både signalet fra uret til vores øje, signalet fra kuglen til øjet og øjets signal til bevidstheden var samtidigt foregående fysiske begivenheder. De to første var imidlertid signaler, der sendtes som lys, og som sådan underlagt lovmæssighederne for lysets bevægelse. Hvis kuglens fald skete langt væk, og uret var tæt på, ville det tage længere tid for lyset af komme fra kuglen til øjet end fra uret til øjet. Kuglens fald ville således blive registreret som foregående senere, end det faktisk foregik. Kunne man overhovedet finde ud af, hvornår det faktisk foregik? Det ville forudsætte, at der fandtes en anden måde at fastsætte tidspunktet for faldet på, og en sådan ville løbe ind i akkurat de samme problemer. Man kunne evt. kompensere for afstandsfordellen eller kræve, at afstanden til kugle og ur skulle være den samme. Men hvordan fastsætter man afstand? Det gør man ved måling, der også involverer opfattelse af signaler, der er fysiske begivenheder og dermed underkastet fysikkens love.

Siden Ole Rømers (1644-1710) tid havde man vidst, at lysets hastighed var endelig, hvorfor erkendelsen af en begivenhed aldrig kunne ske nøjagtig

Einstiens invariansprincip siger, at der ikke findes noget eksperiment, som en person kan udføre i et lille afluksket rum, hvor man ville kunne kende forskel mellem et tyngdefelt og en ækvivalent uniform acceleration. Konsekvensen af dette er, at hvis en elevator er i frit fald i et tyngdefelt, ville en person i denne elevator føle den samme vægtløshed, som hvis elevatoren var i det lufttomme rum langt væk fra stjerner og planeter (modstående side). Hvis der står en person udenfor og sender en lysstråle igennem elevatoren, vil lysstrålen afbojes modsat den retning, som accelerationen er (til højre). Men da invariansprincippet siger, at der ikke er forskel på en accelererende elevator i det frie rum og en elevator i frit fald i et tyngdefelt, må lysstrålen også afbojes i et tyngdefelt.



samtidig med begivenheden selv. Einstein gik også ud fra, at lysets hastighed var den samme, uanset hvorfra den blev beskrevet eller målt. Det havde han visse grunde til rent empirisk, men også mere teoretisk. For hvordan skulle man egentlig konstatere, at lyset bevægede sig med forskellig hastighed? Man måtte f.eks. tænke sig, at man i et rumskib bevægede sig med halvdelen af lysets hastighed, og derfra udsendte et lyssignal. Man skulle så regne med, at det bevægede sig med  $1\frac{1}{2}$  gang lysets hastighed i forhold til det referencesystem, der gjorde det muligt at sige, at rumskibet bevægede sig med lysets hastighed. Men igen: hvordan konstatere det, når al måling ville forudsætte brug af lyssignaler?

Einstein gik ud fra, at lyshastigheden altid var den samme, ligegyldigt hvordan man mælte den, og at alle fysiske love var strengt objektive i den forstand, at de var de samme i alle referencesystemer. Strengt taget antog han i 1905 alene, at dette var korrekt for referencesystemer, der bevægede sig ikke-accelereret i forhold til hinanden. Senere udvidede han sine betragtninger til at gælde forholdet mellem alle referencesystemer.

Princippet om, at naturlovene måtte være invariante over for, hvilket beskrivelsessystem man anvendte, kaldte Einstein for relativitetsprincippet. Relativitetsprincippet – eller invariansprincippet – og tesen om, at lysets hastighed i alle sådanne beskrivelsessystemer er den samme, er grundlaget for hans relativitetsteori. Ud fra disse antagelser var det muligt at vise, at man kunne ændre på de klassiske ligninger for bevægelse og acceleration, således

at der var symmetri. Antagelserne viste også, at det ville være umuligt at påvise en forskel i lyshastigheden på langs og tværs af Jordens bevægelse i en ørter. Faktisk var der slet ingen grund til at antage eksistensen af en ørter, for om den var der eller ej, ville hverken gøre fra eller til.

I en anden artikel fra 1905 overvejede Einstein forholdet mellem fysiske genstandes masse, tyngdekraften og den stråling, som findes imellem dem, og som gør, at vi overhovedet kan se dem. Einstein benægtede, at der kunne være et objektivt rum, i hvilket genstande som f.eks. Jorden og Solen og de andre stjerner befandt sig, og i hvilket hver fysisk genstand havde en masse uafhængigt af de andre. For hvordan skulle man konstatere en sådan masse? Enhver måling ville være en fysisk handling i det faktiske foreliggende univers, og som sådan underlagt påvirkninger fra totaliteten af genstande. Kun i et tankeeksperiment i et tomt, abstrakt univers kunne man tænke sig at mæle massen af f.eks. Jorden i sig selv, ved at påvirke den med en kendt kraft og så mæle dens acceleration, dvs. anvende Newtons anden lov (der siger, at kraft er lig masse gange acceleration). Men hvordan påvirke Jorden med en kraft og foretage målinger, hvis Jorden var den eneste genstand? Einstein var således skeptisk over for ideen om, at genstande i sig selv har masse, men selvfølgelig ikke skeptisk over for gyldigheden af de lovmæssigheder, der gælder for masse – for de var jo empirisk konstaterbare. Hans relativitetsteori satte mekaniske processer, som f.eks. acceleration af en genstand, og elektromagnetiske processer, som f.eks. udsendelse af lys, i samme teoretiske ramme, og ud fra den kunne han nu vise, at der var en sammenhæng mellem udsendelse af stråling, der jo var et energifænomen, og en genstands masse. En genstand, der udsendte stråling og dermed tabte energi, måtte også tage masse. Man kunne også sige det sådan, at f.eks. lys som strålingsenergi selv måtte besidde masse.

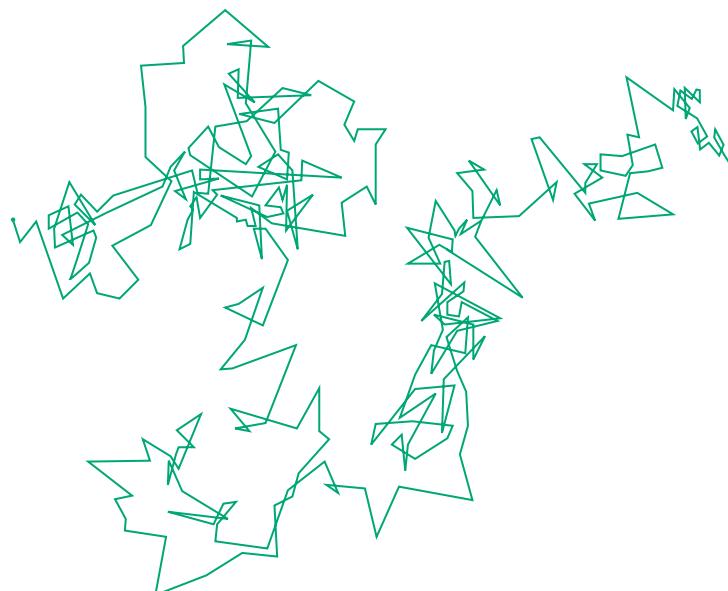
Den sammenhæng, han formulerede, fik formen  $E = mc^2$ , der siger, at den energi, der udsendes fra et legeme i form f.eks. af stråling, svarer til en given mængde stof, hvor forholdet imellem de to bestemmes af lysets hastighed i anden potens. Hvis man altså kunne omdanne stof helt til energi i form af varme eller anden type stråling, så ville der i 1 kg stof være en utrolig mængde energi. Man kan forestille sig virkningen af en sten på 1 kg, der falder fra et par meters højde – den kinetiske energi er ganske stor. Einstein viste nu, at det potentielle energiindhold i en sådan sten var 10.000.000.000.000.000 (dvs. ti millioner milliarder) gange større. Hvis bare

en rimelig stor del af et stofs masse kunne omdannes til stråling, måtte man derfor kunne opnå processer med enormt energiindhold. Atombomberne i 1945 står som skræmmende beviser på Einsteins forudsigelser. Solens stråling medfører ud fra samme teori et massetab på 4,4 millioner tons i sekundet. Så der udstråles ekstreme mængder energi, hvoraf en meget lille del rammer Jorden og muliggør livet – og at læse denne tekst.

Ud over sin relativitetsteori publicerede Einstein i 1905 også to andre teorier. Den ene handlede om de såkaldte brownske bevægelser, der forekom, når man så på meget små partikler nedsænket i væske.

De bevægede sig hid og dit på tilsyneladende tilfældig vis. Einstein fremlagde den hypotese, at disse bevægelser skyldtes et bombardement af molekyler i væsken, der også bevægede sig tilfældigt rundt. Man havde teorier om molekylernes bevægelse, men ikke nogen forståelse af de brownske bevægelseres egenskaber, f.eks. gennemsnitslængden i bevægelserne mellem retningsskift. Einstein var i stand til at give en præcis teori om disse forhold, der senere muliggjorde, at den franske fysiker Jean Baptiste Perrin (1870-1942) kunne foretage en række målinger og udregninger, der gav tal for molekylernes og dermed atomernes størrelse. Perrin kunne også regne sig frem til en værdi for Avogadros tal, et tal, der sagde noget om antallet af molekyler i en given mængde af en luftart, og dermed antallet af molekyler

Robert Brown (1773-1858) opdagede de såkaldte brownske bevægelser i 1827, da han gennem et mikroskop observerede pollentransporter, der hvirlede rundt i vand. Einstein viste, at de brownske bevægelser også findes i væskerne selv, hvor de forårsager temodynamiske effekter som tryk og temperatur. Einstein fandt dermed en fysisk begrundelse for den statistiske termodynamik a la Boltzmann og Maxwell (s. 164, 177-179 og 277-279), som virkede meget mere acceptabel end den klassiske termodynamik, som benyttede sig af målbare, men ubegrundede begreber som energi, temperatur, tryk, masse og rumfang.



i et mol. Den italienske kemiker Amedeo Avogadro (1776-1856) havde allerede i begyndelsen af 1800-tallet formuleret den hypotese, at antallet af molekyler i en given mængde af to luftarter sat i forhold til den enkelte luftarts atomvægt var det samme. Men hvor mange? Kunne man finde tallet, ville man også kunne sige noget om atomernes størrelse og vægt. Kemikere havde lange troet på atomer, fysikere var mere skeptiske, og mange mente, at atomer var en rent hypotetisk antagelse, som forklarede nogle ting, men som man ikke havde egentlig empirisk evidens for faktisk fandtes. Einstein og Perrin fremlagde en sådan evidens, og fra omkring 1910 var der stort set ingen, der reelt tvivlede på eksistensen af atomer.

En anden teori, Einstein publicerede i 1905, drejede sig om stråling. Planck havde som nævnt hævdet, at energi – og dermed stråling – kunne forekomme i visse afmålte størrelser, kvanter. Men Planck havde kun undersøgt strålingen fra legemer, der ikke udsendte lys. Einstein formulerede nu en teori om stråling i almindelighed, som ligeledes byggede på en antagelse om, at stråling kun forekommer i små klumper, altså i kvantiseret form. I forbindelse med lys kaldte han disse for fotoner og påviste, at de kunne opfattes som en art partikler. Herudfra kunne han forklare den fotoelektriske effekt, der ellers var forekommeth uforståelig. I dag kender man den fra fotoelektriske relæer, der styrer bl.a. åbning og lukning af døre i forretninger og elevatorer – lys påvirker noget metal, og der opstår strøm. Men hvordan kunne denne interaktion mellem stråling og stof finde sted? Ud fra antagelsen om, at lys i virkeligheden var partikler, kunne Einstein forklare fænomenet og give formler for sammenhængen. Formlerne muliggjorde målinger, som dermed kunne af- eller bekræfte teorien. Eksperimenterne viste sig at støtte Einstein, og det var for denne teori, at han i 1921 modtog nobelprisen.

## En omvending af alle begreber og forestillinger

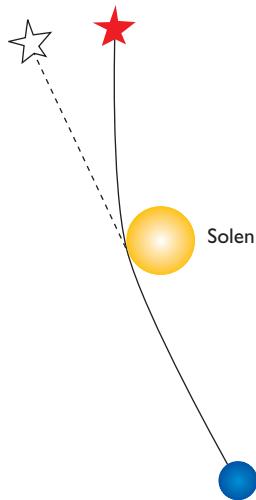
Det blev hurtigt klart, at Einsteins relativitetsteori ændrede begreberne om rum og tid, og om masse og energi. Lys havde pludselig masse og måtte være underlagt tyngdekraften, så forestillingen om, at lyset bevægede sig i rette linjer, måtte strengt taget være forkert.

Men selve fænomenet, at en genstand har masse, måtte også revurderes. Hvis den har masse, fordi den påvirkes af alle andre masser i universet, og de har det samme, så er det egentlig uklart, hvad det vil sige at have masse.

For helheden forudsætter jo delene, de enkelte genstande, men deres masse forudsætter igen helheden, resten af universet. Vi kan uden tvivl veje en genstand og underkaste den acceleration og måle, hvad der sker. Men hvad er det egentlig for fænomener, vi har med at gøre? Ifølge Einsteins teori er samtidighed et relativt begreb. To begivenheder er muligvis samtidige i relation til en observatør, men ikke i forhold til en anden. Størrelsen af massen, længden og tidsrummet afhænger også af hastigheden, så ting og tid forkortes ved meget høje hastigheder, og masser forøges. Afstande kan bestemmes ved hjælp af tid, idet man mäter den tid, lyset tager for at bevæge sig en given afstand. Lysets hastighed er konstant, men alle andre hastigheder er relative. Når man antager, at lyset har en endelig hastighed, så kan man kun observere meget fjerne fænomener på den måde, som de forekom tidligere – pga. lysets rejsetid vil synsindtrykket altid være ”lidt bagefter”. Rum og tid begyndte for Einstein at hænge sammen på en ny måde, og i en række år søgte han efter en mere generel teori, der kunne beskrive de fysiske begivenheder.

I 1916 publicerede han så sin generelle relativitetsteori, der først og fremmest er en teori om sammenhængen mellem rum, tid og masse, dvs. tyngdekraften. Einstein gik ud fra den simple erfaring, som man f.eks. kend fra flyrejsen, nemlig at ens vægt øges, når der accelereres kraftigt, ligesom den falder under kraftig opbremsning – man kan ligefrem opleve øjeblikke af vægtløshed, når flyet passerer igennem et lufthul. Hvor Newton havde påvist, at der skulle sondres mellem træg og tung masse – dvs. mellem den masse, som noget havde, således at det krævede en kraft, for at genstanden kunne accelereres, og så den masse, noget havde, fordi det befandt sig i et tyngdefelt – så mente Einstein, at en sådan distinktion i virkeligheden forudsatte nogle absolutter, som han med sit relativitetsprincip benægtede. Konsekvensen var, at både fænomenet kraft og fænomenet masse var en form for illusioner. Man kunne bruge sådanne begreber, men strengt taget kunne man ikke give dem egentligt empirisk indhold – forstået på den måde, at de egentlig ikke var nødvendige, når man skulle redegøre for de observerede fænomener.

Einstein søgte altså en teoridannelse, der kunne redegøre for det observerede, og som samtidig accepterede, at målinger og observationer var fysiske begivenheder. Han mente, at universet med dets masser og kræfter, som beskrevet med Newtons fysik, i virkeligheden var en struktur, hvor fordelingen af stof i rum og tid skabte de observerede fænomener. For det



Den røde stjerne er stjernens faktiske placering, men fordi vi er vant til at opfatte lysstråler som lige linjer, ses stjernen forskudt (den hvide stjerne).

første kunne rum og tid ikke adskilles – det viste allerede hans analyser af samtidighed – og derudover var masse, som den konstateredes i og med, at legemer udøvede tiltrækning på hinanden, i virkeligheden udtryk for den totale struktur i helheden af rumtid og masse. Lyset bevægede sig i en vis forstand i rette linjer, blot var de rette linjer ikke rette i euklidisk forstand, da en “lyspartikels” bane altid ville være påvirket af strukturen i rumtiden, der igen var et resultat af stoffets fordeling i universet. Der var således “i virkeligheden” ingen tiltrækning mellem Solen og Jorden, på den måde at de gensidigt påvirkede hinanden. Den konstaterede bevægelse i forholdet mellem Sol og Jord skyldtes i stedet, at Jorden bevægede sig i en kortest mulig bane i rumtiden.

Det interessante ved Einsteins teori var nu, at han, med god matematisk hjælp, var i stand til at formulere den sådan, at han også kunne give nogle helt konkrete bud på empiriske konsekvenser. En af disse var, at planeten Merkur, der var tættest på Solen, skulle ændre sin bane lidt hvert år. Det var en ændring, man faktisk havde konstateret, men som Newtons teori om planeternes bane absolut ikke kunne gøre rede for. En anden var, at lys skulle afbøjes i forbindelse med, at det passerede forbi store mængder stof. Det kunne testes ved solformørkelser. I forbindelse med en sådan i 1919 blev der gennemført flere målinger, der klart viste, at Einsteins teori førte til de korrekten forudsigelser, mens Newtons var ukorrekt. Ved et møde i den engelske videnskabelige sammenslutning The Royal Society den 6. november 1919 blev Einsteins teori diskuteret, og der blev gennemført tests. Opdageren af elektronen, Joseph J. Thomson, kaldte bekræftelsen af Einsteins teori, og dermed afkræftelsen af Newtons, for ”en af de mest betydningsfulde, hvis ikke *den* mest betydningsfulde, begivenhed i den menneskelige tænknings historie.”

Newton teori om tyngdekraften og hans forklaringer af solsystemets fænomener havde i næsten 250 år været det mest autoritative eksempel på videnskabelig erkendelse og indsats. Nu forelå der klar evidens for, at hans tanker ikke var korrekte. Newtons teori, som få forstod, men som mange kunne danne sig en forestilling om, var blevet erstattet af en matematisk avan-

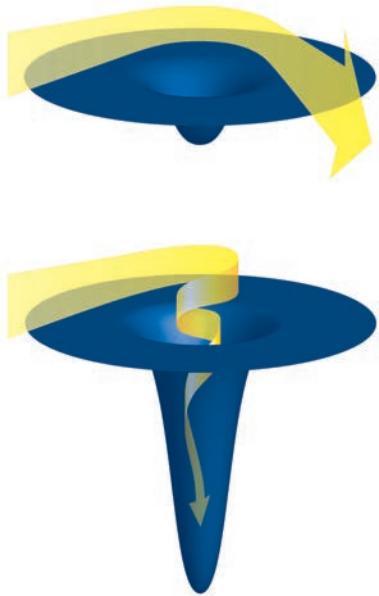
Lys bevæger sig altid langs den korteste vej mellem to punkter i rumtiden. Dette kaldes også en "geodætisk vej". I euklidisk geometri er den en ret linje (se s. 163), men på overfladen af en kugle former den cirkelbaner. I sin generelle relativitetsteori beskriver Einstein tyngdekraften som resultatet af en afbøjet rumtid. Jo stærkere tyngdekraften er, jo mere krum er rumtiden, og nogle gange så meget, så lyset ikke kan slippe væk. Så er det et sort hul.

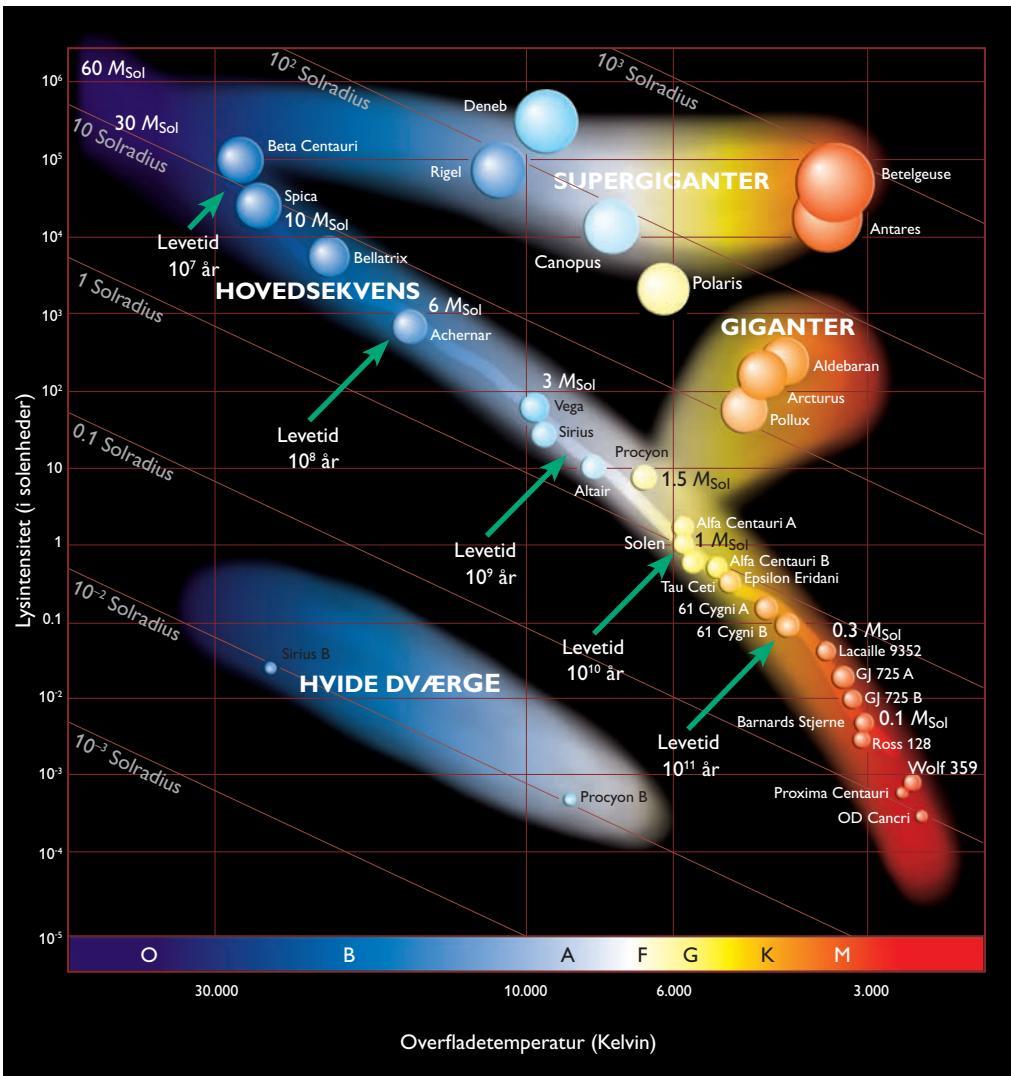
ceret teori, som meget få forstod, og som var utrolig svær at danne sig en forestilling om.

Men Einstein mente ikke kun at have frembragt en effektiv og succesrig matematisk formalisme, han mente også, at han havde fremlagt en teori om verden. Einstein søgte en sammenhængende fysisk teori, der var empirisk stringent – dvs. kunne redegøre for observationer og muliggøre korrekte forudsigelser – men som også havde fysisk mening, i den forstand at den gav os et billede af, hvordan verden rent faktisk var indrettet. Lys og masse opfører sig, som de gør, fordi verden har en bestemt struktur, en struktur som netop kan beskrives matematisk. Det kan – mærkeligt nok – ske med en matematisk teori, som mennesket, der selv er en del af verden, kan frembringe. Det var for Einstein et stort mysterium.

## Vores plads i kosmos

Einstiens generelle relativitetsteori måtte have konsekvenser for forståelsen af universets opbygning. Einstein fremlagde allerede i 1917 den væsentlige konsekvens af sin teori, nemlig at universet ikke var uendeligt, men endeligt. Det var klart, at sammenhængen mellem rum og stof var en anden end den, Newton havde antaget. Rummet var ifølge Einstein ikke en beholder, som genstandene befinder sig i – dvs. en beholder, hvis egenskaber er uafhængige af genstandene. Rummets struktur var efter hans teori derimod struktureret ud fra fordelingen af de genstande, det indeholdt, lidt ligesom tunge kugler på en skummadras. Det er derfor, en lysstråle opfører sig, som den gør, når den bevæger sig igennem rummet. Newtons tyngdeteori måtte medføre, at alle genstande i rummet blev tiltrukket af hinanden og derfor måtte bevæge

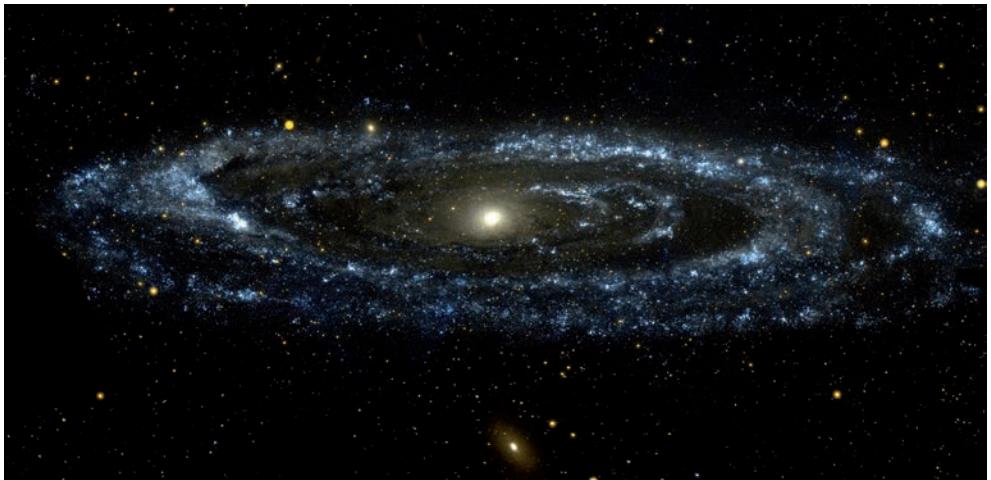




En klassifikation af stjerner: x-aksen angiver temperaturen og y-aksen lysstyrken. Solen ligger trygt i midten som en meget hyppig klasse G-stjerne.

sig ind imod et fælles centrum. Hvis rummet derudover var uendeligt og indeholdt uendeligt meget stof, ville man ikke kunne konstattere et univers,

som det, man ser ud i, når man ser op på stjernehimlen en klar nat. For hvis alle legemer tiltrak hinanden, måtte universet være under konstant kollaps, og det ser man ikke. Der måtte være noget galt med Newtons tese, og Einsteins første bud var således, at universet var endeligt – en tanke, der var næsten lige så svær at fatte som den, at universet var uendeligt. Einstein mente ydermere, at universet som sådan var i bevægelse. Det var også i modstrid



med, hvad man hidtil havde ment, nemlig at de enkelte stjerner eller planeter kunne bevæge sig i forhold til hinanden, men at universet som sådan ikke bevægede sig.

Einstiens arbejde kunne også bruges til at forklare, hvorfor stjerner lyser, hvilket indtil da havde været en stor gåde. I 1920 foreslog Arthur Eddington (1882-1944), at der i en stjernes indre foregik en fusion af fire hydrogenatomer til ét heliumatom, hvorved den overskydende masse blev forvandlet til energi via Einstiens  $E = mc^2$ . Vores Sol var med andre ord en kæmpe hydrogenreaktor med tyngdekraften som eneste låg, og idet Solen består af 70 procent hydrogen, ville den have energi nok til at lyse i endnu ti tusind millioner år. I de følgende ca. 30 år kunne astrofysikere som Hans Bethe (1906-2005), Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-95) og Carl von Weizäcker (1912-2007) også redegøre for, hvordan de andre elementer i det periodiske system kunne dannes via stjerners fusionsprocesser og dermed også forklare, hvordan så mærkelige himmellegemer som gule og røde giganter, supernovaer og hvide dværge blev dannet.

Kopernikus (1473-1543) havde i 1500-tallet fremlagt den tese, at Solen var universets centrum. Senere havde astronomer opdaget Mælkevejens mange stjerner, og man kunne give bud på afstanden til nogle af de nærmeste. Man kendte således nogle af størrelsesforholdene i vores del af universet og havde indset, at Solen ikke var centrum i galaksen, men lå yderligt på én af Mælkevejens spiralarme. Den amerikanske astronom Henrietta Leavitt (1868-1921) – der på grund af sit køn havde svært ved at få en fast stilling som astronom

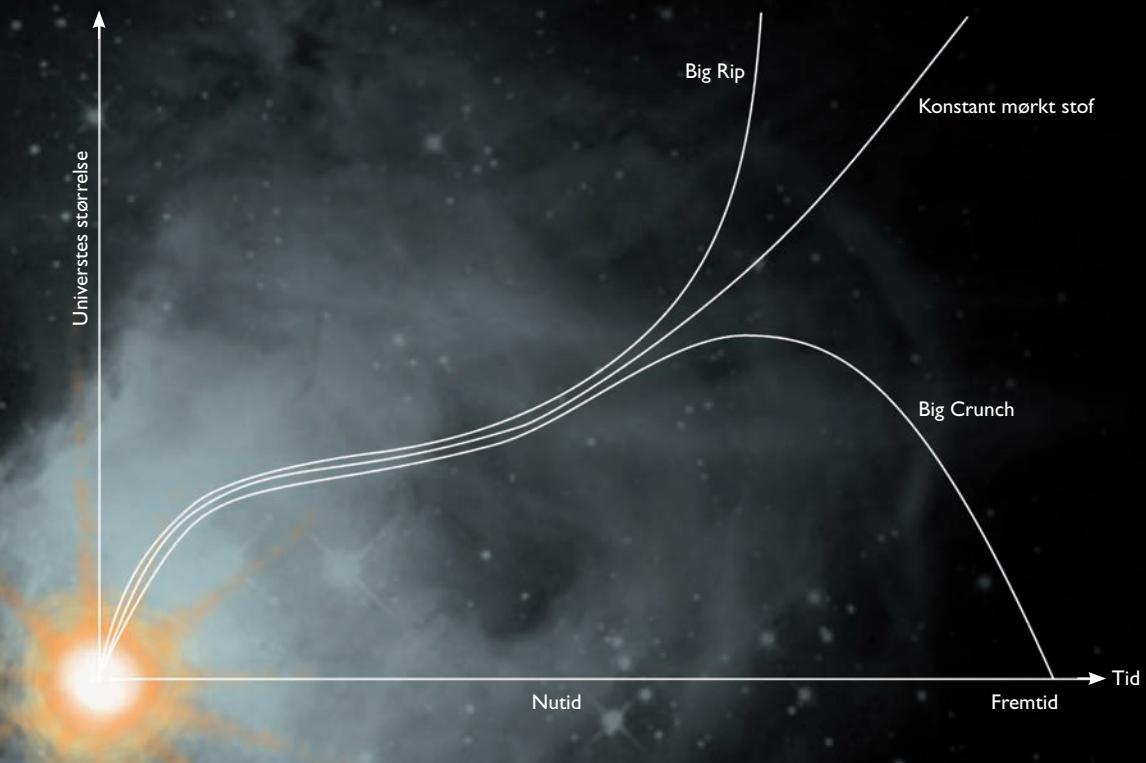
Andromeda-galaksen. Det var astronomen Edwin Hubbles opdagelse i 1924/25 af, at denne galakse ikke var en del af Mælkevejen, men i stedet var en galakse for sig selv, der for alvor startede spekulationerne om verdensrummets størrelse.

ved Harvards observatorium og i stedet blev ansat som “computer”, dvs. som “beregner” med opgaven at bestemme lysintensiteten af fjerne stjerner – havde i 1912 studeret nogle pulserende gule gigant-stjerner i den “magellanske sky”. Hun opdagede, at perioden, hvormed disse såkaldte cepheider blinkede, var proportional med deres reelle lysintensitet, hvilket hun så kunne bruge til at beregne afstanden til dem ved at sammenligne med lysintensiteten på fotografier taget fra Jorden. På baggrund af dette forarbejde lykkedes det den amerikanske astronom Edwin Hubble (1889-1953) i 1924/25 at bevise, at en af disse skyer, Andromeda-tågen, ikke var en del af Mælkevejen, men en stor samling af stjerner, der befandt sig længere ude i universet.

Ved at studere disse stjernetåger fremsatte Hubble og den belgiske præst og matematiker Georges Lemaître (1894-1966) den tese, at universet var endeligt, men i konstant ekspansion. Alle genstande i rummet fernede sig konstant fra hinanden. Det var endda muligt at angive den hastighed, med hvilken det skete. Den var afhængig af afstanden fra Jorden og steg med afstanden. Ud fra sådanne beregninger og andre målinger antog Lemaître, at universet dels kom fra et enkelt punkt, og at det havde en endelig alder. Denne teori kaldes normalt teorien om “The Big Bang” – et navn, der faktisk oprindelig var ment som en hån udtænkt af astronomen og science fiction-forfatteren Fred Hoyle (1915-2001), der selv var tilhænger af en “steady state”-teori, ifølge hvilken universet både udvidede sig og var evigt. Big Bang-betegnelsen holdt ved, og universet anses i dag for at være ca. 13-14 milliarder år gammelt.

Einsteins teorier viste sig at have god mening i forhold til Big Bang-teorien og det faktisk observerede. Universet var ikke statisk, men i konstant bevægelse. I 1965 opdagede de to amerikanske astronomer Arno Penzias (f. 1933) og Robert Woodrow Wilson (f. 1936), at der jævnt spredt i universet fandtes mikrobølgestråling. Denne “baggrundsstråling” med en temperatur på 2,7 Kelvin anså de fleste teoretikere som “rester” fra Big Bang og dermed som en bekræftelse af teorien.

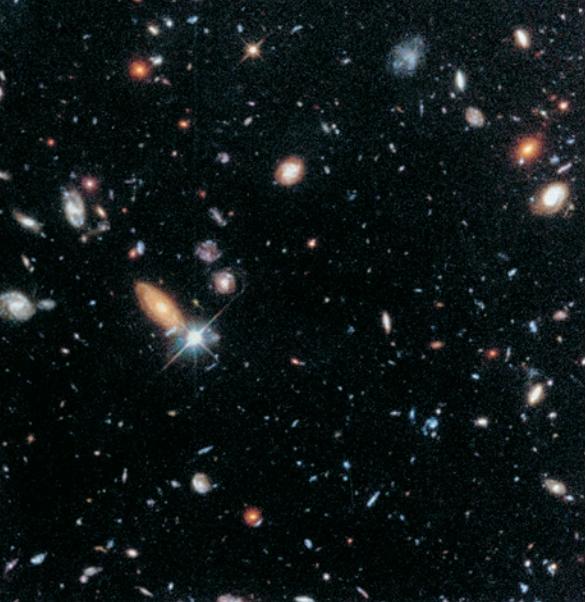
I 1979 fremlagde den amerikanske fysiker Alan H. Guth (f. 1947) en teori om, at universet meget tidligt udvidede sig med eksponentiel hast. Denne såkaldte inflationsmodel kan forklare en del fænomener, som Big Bang-modellen ikke kan – f.eks. universets øjensynlige geometriske fladhed og relative homogenitet. Men den forudsætter, at der findes noget ekstra energi i form af mørkt stof et eller andet sted i universet, måske i vakuumet



mellem stjernerne, hvor man kunne forestille sig en konstant dannelse og ødelæggelse af partikler og anti-partikler. Einstein antog i sin generelle relativitetsteori, at der findes en sådan energi i vakuumet, som ikke ville ændre sig med tiden. Han kaldte den for den "kosmologiske konstant", hvad han senere hen fortrød bitterligt og kaldte for sit livs "største fejltagelse". Pointen er imidlertid, at ingen ved, hvor stor den kosmologiske konstant er, hvis den overhovedet eksisterer. Det er derfor ikke klart, hvor stort universet er, eller hvor meget stof, der er i det. Hvis der er mere end en bestemt masse i gennemsnit pr. kubikmeter, så vil universet stoppe med at udvide sig og i stedet trække sig sammen i et "Big Crunch", og omvendt, hvis der er mindre end en bestemt kritisk masse, vil det fortsat blive større og større og ende i et "Big Rip".

Man kunne måske tro, at Jorden, eller i hvert fald Mælkevejen, igen er kommet tilbage i centrum af universet, fordi alle iagttagere i et evigt ekspanderende univers nødvendigvis vil se sig selv i centrum af ekspansionen. Men det er kun et tilsyneladende centrum. Alle galakser og stjernetåger bevæger

Universets fretid kender vi ikke. Måske ender det i et "Big Rip", hvor al materie, lige fra galakser til atomer, rives fra hinanden i et stadigt mere ekspanderende univers, eller i et "Big Crunch", hvor alt knuses sammen. Mange mener, at udfaldet afhænger af mængden af mørkt stof i det tomme rum.



Det såkaldte Hubble-flow betegner galaksernes bevægelse væk fra hinanden. Det skyldes universets evige ekspansion, der begyndte med det berømte Big Bang. Der findes ikke noget centrum, og alle ting bevæger sig væk fra hinanden, ligesom på overfladen af en voksende ballon. Her et kig ind i det dybeste univers, lidt nord for Karlsvognen, observeret af Hubble Space Telescope i december 1995.

sig nemlig væk fra hinanden i en stor symmetrisk strøm, kaldet det store "Hubble-flow".

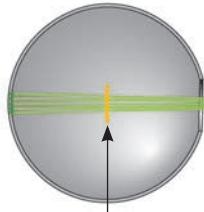
De galakser, som er længst borte fra os, vil bevæge sig væk med størst hastighed, ligesom de galakser, der er tættere på, vil be-

vægne sig væk, blot langsommere. Det er konsekvensen af et ekspanderende univers, og det vil gælde for alle udsigtspositioner i universet. Horisonten af det synlige univers kan derfor defineres af de galakser, som bevæger sig væk fra os med lysets hastighed. Omvendt vil en beboer på en planet i en sådan galakse selvfølgelig se vores Mælkevej som den yderste kant af sit eget synlige univers. Dette kosmologiske princip siger, at alle udsigtspositioner principielt er lige gode. Der findes ikke noget unikt centrum. Alle punkter i universet, inklusive vores Mælkevej, tog del i Big Bang og bliver nu båret med det kosmiske Hubble-flow, efterhånden som universet udvider sig ligesom overfladen på en stadig større ballon.

## Atomets struktur

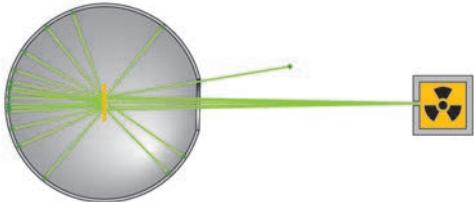
Den engelske fysiker Ernest Rutherford (1871-1937) gennemførte omkring 1910 en række forsøg, der gav genlyd i hele fysikkens verden. Rutherford sagde om dem, at deres resultat var ligeså utroligt, som hvis man havde skudt nogle store granater ind mod et stykke tyndt papir, og de så var blevet reflekteret tilbage og havde ramt én selv. Han sendte stråler bestående af partikler imod en tynd metal-folie, og hans resultater tydede på, at atomer ikke i sig selv var partikler, men at de igen bestod af andre partikler og var organiseret med en ekstremt lille kerne af positiv ladning med elektroner rundt omkring, fordelt i sfæriske baner.

Forventet bane for  
alfapartiklerne



Alfapartikler fra  
radioaktiv kilde

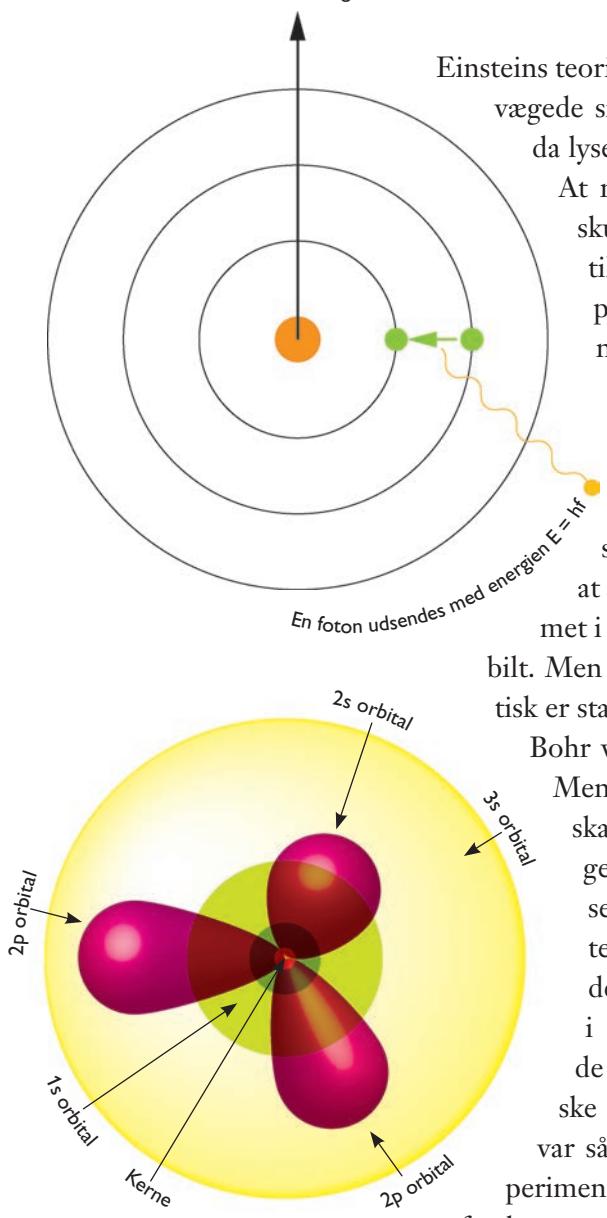
Observeret bane for  
alfapartiklerne



På baggrund af Rutherford's arbejde og andre studier af atomare fænomen, specielt det spektrum, der knyttede sig til grundstoffet brint, fremlagde danskeren Niels Bohr (1885-1962) en model af atomet, der på flere afgørende punkter brød radikaligt med den klassiske fysik. Bohr forestillede sig atomet som et lille planetesystem. Elektronerne cirklede om atomkernen. Som henholdsvis positivt og negativt ladede tiltrak de hinanden, og i systemet var "lagret" en vis mængde energi. Elektronen kunne ifølge Bohr befinde sig i forskellige baner omkring kernen, og hvis den "sprang" fra en større til en mindre bane – dvs. kom tættere på kernen – blev der energi frigjort i form af stråling. Bohr præciserede på denne måde Rutherford's opfattelse af atomet, men han gjorde mere end det. Han inddrog også Plancks ide om, at energi kunne forefindes i bestemte størrelser, idet han viste, at der kunne være en sammenhæng imellem elektronens baner og den stråling, dvs. energi, der udsendtes fra atomet. Brints spektrum indeholdt en række træk, som hidtil havde været svære at forklare, og Bohr viste nu til stor overraskelse for alle, og sikkert ikke mindst for ham selv, at hans model kunne forklare disse fænomener.

Der var bare det ved modellen, at den på en række afgørende punkter var direkte i strid med, hvad man på det tidspunkt vidste om stoffets natur. For det første: hvis elektronen var elektrisk ladet og bevægede sig rundt om kernen i en sfærisk bane, så ville dens bevægelse være konstant accelereret, og dermed skulle den ifølge den klassiske elektromagnetiske teori konstant udsende stråling. Men det gjorde den netop efter Bohrs teori kun, når den "sprang" fra én bane til en anden. For det andet var disse "spring" ganske besynderlige. Elektronen bevægede sig fra én bane til en anden fra øjeblik til øjeblik og ikke via nogle punkter imellem de to baner. Ikke engang

Rutherford sendte alfa-partikler gennem et ekstremt tyndt stykke guldfolie (0,00004 cm). På baggrund af tidligere atommodeller regnede Rutherford med et resultat som til venstre. Det faktiske resultat (til højre) fik Rutherford til at antage eksistensen af en tung kerne, som måtte udgøre hovedbestanddelen af atomet. Det var disse tunge, positivt ladede kerner i guldfoliet, som strålingen undertiden kolliderede med. Derfor rikochetterede strålingen tilbage eller blev slået ud af kurs.



Einstiens teori tillod, at noget på den måde bevægede sig med uendelig stor hastighed, da lysets hastighed her var den største. At noget momentant, altså i ét nu, skulle kunne bevæge sig fra et sted til et andet var uhørt. Yderligere problematisk var det, at hvis en negativt ladet elektron kredsede om en positivt ladet kerne, hvorev den burde udsende stråling, så ville den stadigt skulle tage energi og dermed bevæge sig ind imod kernen for endeligt at smelte sammen med denne. Atommet i Bohr-modellen burde være ustabilitet. Men alle erfaringer viste, at stof faktisk er stabilt.

Bohr var fuldt ud klar over disse ting.

Men teoriens evne til at forklare og skabe orden var så stor, at den alligevel fik enorm indflydelse. Bohr selv anvendte den til at udvikle en teori om det periodiske system, der skabte stærkt forøget indsigt i kemiske fænomener og knyttede fundamentale fysiske og kemiske forhold teoretisk sammen. Der var således en meget lang række eksperimentelle og empiriske forhold, som fandt en naturlig forklaring ud fra Bohrs teorier, selvom teorierne forekom at indeholde helt afgørende problemer. Der måtte være tale om nye og hidtil uforståede processer.

Bohr arbejdede i årene mellem 1913 og 1924 med alle disse problemer. Han for-

Bohr fremsatte en atommodel, der ligner en planetmodel (øverst). Rundt om kernen kredser elektronerne i forskellige baner, alt efter hvilken energi de har. I den moderne kvantemekaniske representation af atomet (nederst), udviklet af bl.a. Louis de Broglie og Erwin Schrödinger i 1920'erne, tegner man gerne elektronerne som energiskyer ("orbitaler") i forskellige udforminger, alt efter deres energi.

søgte både at udvikle teorien, så den kunne forklare flere og flere empirisk konstaterede fænomener, og at – måske allervigtigst – udlede forskellige logiske og erkendelsesteoretiske aspekter af den. Langsomt i årene 1918-22 formulerede han, hvad han på et tidspunkt kaldte “korrespondensprincippet”. Han formulerede det bl.a. sådan her: “Enhver beskrivelse af naturprocesser må basere sig på ideer, der er introduceret og defineret af den klassiske teori.” Ifølge Bohr må man beskrive de atomare fænomener ved hjælp af begreber, som giver mening, når de anvendes dem på ”normale” genstande: sten, bolde, væsker, strøm i ledninger, lys osv. Men samtidig er der visse usædvanlige forhold, man må acceptere, f.eks. eksistensen af mindste størrelser af energi, dvs. Plancks energikvanter.

Beskrivelsen af verden på det mikroskopiske niveau må således ske med begreber, der får deres mening fra erfaringer på det makroskopiske niveau. Alligevel er beskrivelsen af det mikroskopiske niveau på visse områder i modstrid med de makroskopiske erfaringer, men denne modstrid forsvinder, når tilpas store mængder mikroskopiske fænomener forekommer og danner den makroskopiske verden. Senere eksperimenter og teoridannelser skulle dog komme til at udfordre Bohrs erkendelsesteoretiske synspunkter på væsentlige punkter.

Omkring 1923-24 var det klart, at atomare fænomener ikke kun kunne forstås ud fra en model med mikroskopiske elektrisk ladede partikler, der opførte sig efter lovmæssigheder, og som var kvantiserede, men i øvrigt klassiske. Der forelå en række eksperimenter, der viste, at man med rimelighed kunne forstå materien som bestående af partikler – men også at partikler kunne forstås som et bølgefænomen. Et afgørende eksperiment var Arthur Comptons (1892-1962) undersøgelser af forholdet imellem røntgenstråling og elektroner i faste stoffer. Når de kolliderede, skete der en forøgelse af strålingens frekvens. Det viste, at samspillet imellem partikler og stråling var mere komplekst end hidtil antaget. Fænomener, der havde partikelkarakter, kunne udvise strålingsegenskaber, og derfor kunne de også antage bølgekarakter. Det blev for alvor bekræftet i 1927, da man ved eksperimenter fandt ud af, at elektroner kunne opføre sig på måder, der normalt havde med stråling og bølgefænomener at gøre.

Franskmanden Louis de Broglie (1892-1987) tolkede i 1923 Bohrs atommodel sådan, at elektronen i stedet for at være en partikel, der cirkulerede om en kerne, var en art stående bølge, en materie-bølge. Selvfølgelig

var der ingen, der havde *set*, om elektronen var en partikel eller en bølge – det drejede sig derimod om at fremlægge sandsynlige modeller for, hvordan stoffets mikroorganisation var, ud fra en lang række teoretiske antagelser og eksperimenter, som gensidigt understøttede hinanden. Hvis man antager, at energi ikke kan eksistere i mindre enheder end lyskvanter, og elektricitet ikke i mindre mængde end den, som en elektron besidder, så må al erkendelse i form af observation eller eksperimenter nødvendigvis ske ved hjælp af disse enheder. Vil man studere lyskvanter, kan det kun ske via lyskvanter. Der er ingen anden måde at få kendskab til disse fænomener end ved at studere dem via den samme type fænomener. Det er for så vidt samme situation, som findes på det makroskopiske niveau, hvor man ikke kan studere kosmiske sammenhænge ved hjælp af signaler med hastigheder over lyssets. Vi er fundamentalt begrænsede i vores erkendemuligheder af de fænomener, vi ønsker at studere. Målinger – kernen i ethvert forsøg på at få viden om verden – er selv fysiske begivenheder og dermed underlagt den fysiske verdens lovmaessigheder og begrænsninger. En af fysikkens mere problematiske opgaver er også at vinde indsigt i disse begrænsninger.

## Usikkerhedsprincippet

I årene 1924-25 fremkom den unge tyske fysiker Werner Heisenberg (1901-76) med en ny teori om de atomare fænomener, der skulle vise sig at få vidtrækende betydning. Heisenberg forsøgte at fremlægge en teori for atomare fænomener, der startede med alene at gå ud fra de observerbare fænomener. Det var først og fremmest en række tal, der angav frekvenser for visse linjer i brints spektrum. Heisenberg fremlagde nu en matematisk model, i hvilken man kunne beregne alle disse tal. Som input i modellen skulle anvendes de forskellige energitilstande, som en elektron kunne være i, og som output fik man så en række tal, der beskrev, hvad der kunne observeres. De energitilstande, et atom kan befinde sig i, er afhængige af de bohrske “spring”, og de forekommer med en vis sandsynlighed. Derfor må beskrivelsen af de atomare fænomener basalt set indeholde en lang række sandsynligheder for, at bestemte energiforandringer sker. Det var muligt for Heisenberg at redegøre for de observerede fænomener, og sågar at forudsige nye – men det var svært at give den rent matematiske model fysisk mening.

For yderligere at komplicere situationen fremkom næsten samtidig

et alternativ til Heisenberg, som baserede sig på en klar opfattelse af, at elektronen var et stofligt bølgefænomen. Teorien var en fortsættelse af de Broglies antagelser om, at elektroner både var partikler og bølger, og den blev fremsat af østrigeren Erwin Schrödinger (1887-1961). Det hele gik nu meget hurtigt. Det blev vist rent matematisk, at Schrödinger-ligningen og Heisenbergs ligninger var ækvivalente i den forstand, at de med samme input gav samme output. De var således lige gode til at redegøre for de faktisk observerede data. Men de var fundamentalt uenige, hvad angik den måde, de anskuede virkeligheden på. Schrödinger antog, at der fandtes en art materie-bølger, at stof basalt set var noget andet end en ansamling partikler.

Heisenbergs lærer Max Born (1882-1970) fortolkede nu kvadratet på Schrödinger-ligningen som sandsynlighederne for at finde en partikel et givet sted, og ikke som egenskaber ved en faktisk eksisterende bølge, og Heisenberg observerede to bemærkelsesværdige træk ved sin egen ligning. For det første brød visse dele af den med den grundlæggende regel for multiplikation, at faktorernes orden er lige gyldig, dvs. at  $ab = ba$ . For det andet indeholdt den det problem, at hvis man skulle tolke dens faktiske indhold, involverede den ikke kun det observerede, men også observatøren – forstået på den måde, at observationen skete via processer af samme slags som dem, der blev observeret. Det kom sig af, at Heisenberg antog, at påvisningen af en elektron måtte ske med lys. Men lys og elektronen ville fysisk interagere, og resultatet – det observerede – ville være påvirket af denne interaktion, dvs. man ville ikke observere objektet, men resultatet af interaktionen mellem objektet og det medium, med hvilket man observerede. Det skyldtes de forhold om interaktion mellem lys og partikler, som Compton havde påvist.

Heisenberg formulerede i 1926-27 sine konklusioner. De gik ud på, at det ikke var muligt nøjagtigt at bestemme en elektrons position og dens moment. Hvis man ville vide meget om den ene egenskab, ville det betyde mindre viden om den



Heisenbergs usikkerhedsprincip siger, at det ikke er muligt nøjagtigt at bestemme en partikels position og moment (som er et produkt af partiklens masse og hastighed). Usikkerhedsprincippet er et direkte resultat af partikel-bølge-dualiteten, som den f.eks. viser sig i fotoners skizofrene opførsel i dobbeltspalteksperimentet (s. 250). Den nedre grænse for målingen nøjagtighed er givet ved  $\hbar/2$ , hvor  $\hbar$  er den reducerede Plancks konstant, der angiver størrelsen af en kvant, som er ca.  $10^{-34}$  Js.

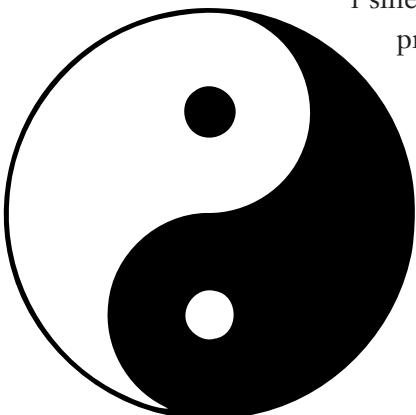
anden, og omvendt. Omfanget af denne usikkerhed var knyttet til Plancks konstant. Det forhold, at energi ikke kunne findes i vilkårligt små mængder andet end i frie fotoner, satte altså en grænse for, hvad man kunne vide om elementære størrelser som elektronen. Det betød, at enhver fundamental naturbeskrivelse måtte være baseret på *sandsynlighedsbeskrivelser* – og dermed blev den indeterministisk og delvist ikke-kausal.

Når Heisenberg hævdede, at elementarpartiklers sted og moment ikke kunne bestemmes vilkårligt, forudsatte han, at elektronen faktisk både havde et sted, hvor den var, og at den besad bestemte energi-egenskaber. Men hvad ville det så sige, at erkendelsen af den var udtrykt i sandsynlighed? Og hvad betød det, at den både teoretisk og eksperimentelt udviste bølgeegenskaber?

## Komplementaritet fra København

Bohr opfattede ikke Heisenbergs teori som tilfredsstillende. Heisenberg havde en klar model, der involverede en observatør underlagt visse begrænsninger og en verden, som observatøren ikke kunne opnå fuld information om, selvom han godt kunne vide, hvad det var, han manglede information om. Bohr mente, at de erkendelsesteoretiske problemer var for store. Heisenberg gik ydermere ud fra, at det var uproblematisk at anvende begreber som f.eks. sted og hastighed på elektroner. Det havde Bohr selv gjort

i sine teorier fra 1913 til 1924. Men med en række problemer, paradoxer og modsigelser til følge, hvorfor Bohr nu, i 1927, satte spørgsmålstege ved fremgangsmåden. Ifølge Bohr var det ikke virkeligheden, der satte grænser for anvendelsen af vores begreber – det forholdt sig snarere omvendt: det var vores begreber, der satte grænser for vores erkendelse af virkeligheden. For på hvilken måde skulle man få mulighed for at præcisere begreberne ”sted” og ”hastighed”, hvordan skulle man nogensinde kunne vide, om man anvendte dem korrekt? Ikke desto mindre havde man intet andet valg end at forsøge at anvende de forhåndenværende begreber, der fik deres



Da Bohr i 1947 modtog Elefantordenen, brugte han det taoistiske yin og yang-symbol til at symbolisere komplementaritetsprincippet, fordi ”det drejer sig ikke om modsigelser, men om komplementære opfattelser af fænomenerne.”

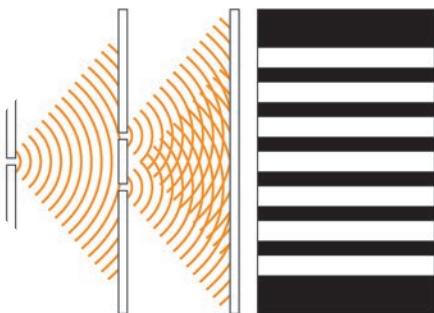
mening ud fra dagligdags erfaringer. Bohr supplerede dermed sit korrespondensprincip med et komplementaritetsprincip, der sagde, at vedrørende de atomare forhold var man nødt til at give flere hinanden udelukkende beskrivelser. At elektronen måtte beskrives med begreber, der tillagde den bølge-egenskaber, var ikke udtømmende, den kunne også beskrives som en partikel – men denne beskrivelse ville heller ikke være udtømmende. Der ville simpelthen ikke kunne gives en sammenhængende og modsigelsesfri beskrivelse af den atomare virkelighed.

Siden 1927 havde Bohr ment, at fysik ikke drejer sig om, hvordan virkeligheden er, men derimod om, hvad vi kan sige om den. Filosofisk set kan dette kaldes en epistemologisk position, det vil sige en position, som primært undersøger gyldigheden for viden. Ved et større fysikermøde i den italienske by Como introducerede Bohr sit begreb om komplementaritet. Ud fra det grundsynspunkt, at ”vores tolkning af det eksperimentelle materiale hviler i alt væsentlig på klassiske begreber”, var han i stand til at redegøre for Heisenbergs påstande om ubestemthed, uden at tilslutte sig Heisenbergs og Max Borns forestillinger om, at virkeligheden var indeterministisk og ikke-kausal. Bohr sagde blandt andet: ”En uafhængig virkelighed i sædvanlig (dvs. klassisk) fysisk forstand kan hverken tilskrives fænomenerne eller selve observationsmidlerne.” Heisenberg havde i 1927 hævdet, at ”kvantemekanikken fastslår definitivt ugyldigheden af loven om kausalitet”, mens Bohr nu tolkede situationen sådan, at man på den ene side aldrig ville kunne undvære begrebet om kausalitet i beskrivelserne af naturen, men at man på den anden side måtte indse, at ingen beskrivelse af atomare fænomener nogensinde ville kunne give et fuldstændig sandfærdigt billede af virkeligheden. Det var imidlertid bestemt ikke det samme som at sige, at naturen ikke var underlagt kausalitet, sådan som Heisenberg gjorde det.

Den klassiske forståelse af eksperimentet var, at man stillede et spørgsmål, hvorpå der kom et klart udfald. Bohr forstod de nye betingelser således, at ved atomare eksperimenter havde spørgsmålet indflydelse på svaret. Det skulle forstås sådan, at dels var et svar aldrig udtømmende, og dels kunne der stilles et andet spørgsmål, der ville give et lige så godt svar – men et svar, der vel at mærke udelukkede det første.

Bohrs fortolkning, som også blev kaldt ”Københavnerfortolkningen”, lavede i en vis forstand et billedforbud mod visse begreber og forståelser, fordi de ikke gav mening i forhold til de observerede kvantemekaniske fænomener.

## • Dobbeltspalteeksperimentet



Det var oprindeligt englænderen Thomas Young (1773-1829), der udførte det første dobbeltspalteeksperiment for at vise, at lys skulle forstås som bølger, og ikke som små partikler. Men efter at man i løbet af 1920'erne havde demonstreret, at lys vekselvirker med materie i form af diskrete, "kvantificerede" energipakker, kaldet fotoner, blev dobbeltspalteeksperimentet det ultimative eksempel på elementarpunktiklers mærkelige partikel-bølge-dualitet.

I eksperimentet opsættes en plade med to spalter, hvorigennem fotoner (eller elektroner) kan passere og ramme en bagvedliggende fotoplade, på hvilken man kan se, hvor og hvornår fotonerne rammer. Hvis en af spalterne tildækkes, vil de efter hinanden følgende fotoner, der trænger igennem den anden spalte, langsomt opbygge et simpelt mønster med en top og kun lidt diffraction, på et overensstemmelse med de heisenbergske usikkerheder, der er forbundet med en partikels position og moment. Men lige så snart begge spalter er åbne, vil det til at starte med se ud som om, at fotonerne rammer pladen tilfældigt, men efterhånden vil der opbygges et interferensmønster med et mønster af lyse og mørke striber.

Det er fristende at tro, at hver foton må

passere gennem enten den ene eller den anden spalte. Men hvis det var tilfældet, burde man kunne optage interferensmønstret på film ved først at lukke den ene spalte i et stykke tid, og så åbne den igen og lukke den anden. Men det ved vi jo, ikke fungerer. Interferensmønstret opstår kun, når begge spalter er åbne. Den enkelte foton er med andre ord ikke kun klar over, om der findes en anden spalte. Den ved også, om den er åben. Ifølge Københavnerfortolkningen bliver vi derfor nødt til at konkludere, at hver foton går gennem begge spalter, og at hver foton kun interfererer med sig selv.

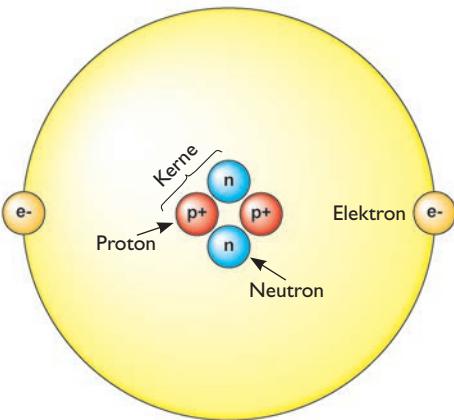
Hvis det lyder som nonsens, kan man glæde sig til det næste: i en lille variation af dobbeltspalteeksperimentet placeres små detektorer på hver af spalteåbningerne for at aflure, igennem hvilken fotonen går. Men det viser sig ikke at fungere. Blot en enkel detektor ødelægger interferensmønstret. Det skyldes, at en måling med detektoren implicerer en fysisk interaktion med fotonen, og når det først er sket, vil fotonen fortsætte, som om der kun fandtes den ene spalte, hvor den blev målt. Fysikere har længe kæmpet med at for tolke sådanne kontaintuitive resultater. Ifølge den efterhånden mest anerkendte Københavnerfortolkning forestiller man sig, at der findes en bølgefunktion, som beskriver sandsynligheden for at finde en partikel i et givent punkt. Men indtil partiklen er registreret, antager man, at den eksisterer alle steder langs bølgefunktionen, dvs. alle steder på en gang. Hvis en partikel derfor kan passere gennem to steder på en gang, vil den også gøre det. Hvis partiklen registreres på vejen, vil bølgefunktionen "kollapse" og interferensmønstret forsvinde.

## Atomare fristelser

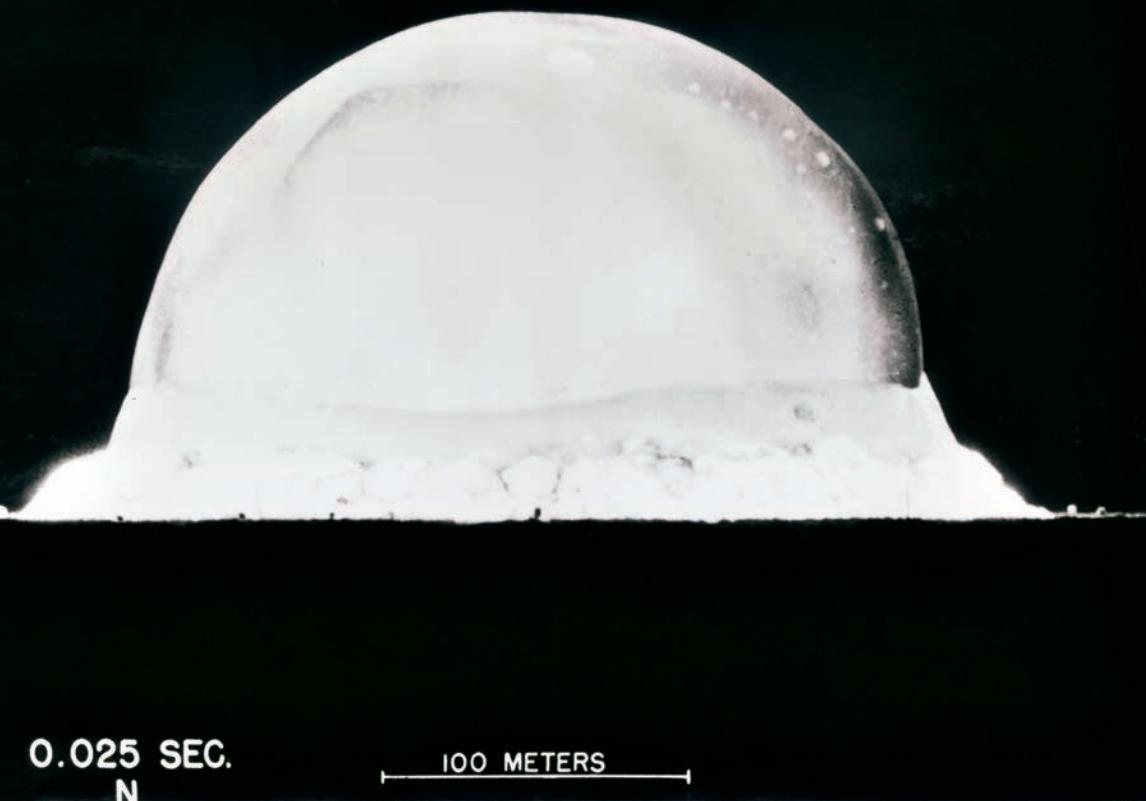
I slutningen af 1920'erne begyndte indholdet i den nye fysik om atomare fænomener at tegne sig klarere og klarere. Bohrs arbejde havde betydet mange principielle afklaringer, og der foregik en fortsat matematisk raffinering, først og fremmest via englænderen Paul Diracs (1902-84) arbejde, der inddrog betragtninger over elektronens bevægelse, når denne blev beskrevet ved hjælp af Einsteins relativitetsteori. Samtidig fandt mange nye og vanskeligt forståelige opdagelser sted. Dirac havde således teoretisk forudsagt eksistensen af positivt ladede elektroner, kaldet positroner, og de blev faktisk påvist i 1932. Samme år opdagede englænderen James Chadwick (1891-1974), at selv atoms kerne var sammensat af flere slags partikler, nemlig både positivt og neutralt ladede partikler.

Disse såkaldte neutroner kom til at spille en hovedrolle i forståelsen af visse typer atomare processer, der kunne føre til forandringer af grundstofferne og til energiprocesser med hidtil uhørt udløsning af energi. Det var disse “fissionsprocesser”, der blev udnyttet i atombomber og atomreaktorer. I 1938 blev det almindelig kendt blandt atomfysikere og kvantemekanikere, at grundstoffet uranium kunne spaltes. Det var tyskerne Otto Hahn (1879-1968) og Fritz Strassman (1902-80), som havde opdaget uranspaltningen, hvilket man senere kaldte for fission. Allerede kort tid efter opdagelsen fandt nogle franske fysikere ud af, at der under processen frigjordes nogle neutroner, som er de neutralt ladede partikler i en atomkerne. Spekulationerne om det var muligt at fremkalde en kædereaktion ved hjælp af disse neutroner, og dermed producere en atombombe, voksede hurtigt i det dengang antændte politiske klima. Bohr kunne i en kort note i fagbladet *The Physical Review* året efter gøre rede for, at det var den sjældne uran 235 isotop, som kunne udløse disse langsomme neutroner.

1. september 1939, dagen hvor Hitler gik ind i Polen, udkom en skæltende artikel af Bohr og John Archibald Wheelers (f. 1911), som gjorde



James Chadwicks atommodel. Chadwick var den første, der opdagede, at atoms kerne også selv var sammensat af mindre partikler, nemlig henholdsvis protoner og neutroner.



Da den italienske fysiker Enrico Fermi (1901-54) ved konstruktionen af den første atombombe under Manhattan-projektet blev konfronteret med muligheden for, at atombomben ikke kun ville eksplodere med en enorm kraft, men at den måske ville antænde hele atmosfæren og dermed udslætte menneskeheden, overvejede Fermi sagen et kort øjeblik og svarede: "Ja, der er en fare ... men det er så smukt et eksperiment!" Billedet viser den første atombombe, "Jumbo", der havde en plutoniumkerne ikke større end en tennisbold, blive prøvesprængt den 16. juli 1945 i New Mexico.

det klart for alle, at en tilstrækkelig mængde renfremstillet uran 235 kunne udløse en gigantisk mængde energi, som overgik enhver forestilling. Hvis man kunne fremstille en atombombe af uran 235, ville man dermed kunne sikre sig en sejr i Anden Verdenskrig. Både tyske og engelske fysikere spekulerede længe over, hvor meget denne "tilstrækkelig mængde" egentlig var. I et internt notat til

den britiske regering fra april 1940 (for nu var al forskning i atomenergi hemmeligstempet) konkluderede de tyske afhoppers Rudolf Peierls (1907-55) og Otto Frisch (1904-79), at et enkelt kilo renfremstillet uran 235 var nok til at starte en kædereaktion. Tyskerne havde derimod beregnet sig frem til, at det krævede flere hundrede eller flere tusind kilo. Resultatet var, at

englænderne satte et forskningsprojekt i gang for at bygge bomben, mens tyskerne ikke gjorde det. Først tre år senere, i 1943, fandt amerikanerne ud af, at den kritiske masse var ca. ti kilo. Det såkaldte Manhattan-projekt handlede om at bygge en atombombe, og ”dagen, hvor Solen stod op to gange” for første gang var den 16. juli 1945, kl. 5:29:45 lokal tid, hvor en atomprøvesprængning tog sted i et upåagtet ørkenområde ved navn Alamogordoørkenen i midten af staten New Mexico. Kun 21 dage senere, den 6. august 1945, blev atombomben brugt for alvor og dræbte over 70.000 af Hiroshimas indbyggere med ét slag.

## Disintegration eller enhed?

Efterhånden som undersøgelsesapparaturet forbedredes i løbet af 1950’erne og 60’erne, blev forståelsen af de atomare fænomener tilsvarende mere kompleks. Mængden af elementarparktikler steg til flere hundrede, og der manglede totalt enhedsforståelse inden for området. Fysikerne arbejdede med en model, hvor al stof var underkastet i hvert fald fire fundamentale kræfter og en række partikler, der kunne være ”bærere” af disse kræfter. Der var tyngdekraften, som Einstein havde udviklet en teori om, der var de elektromagnetiske kræfter, der viste sig i elektromagnetisk stråling og i kræfterne mellem elektron og proton i atomet, og to yderligere typer af kræfter i selve atomets kerne – de svage og stærke kernekræfter. Arbejdet for fysikerne drejede sig i stigende grad om at skabe overblik og forsimpling, f.eks. ved at finde fænomener, der kunne redegøre for de mange elementarparktikler, og teorier, der kunne redegøre for de forskellige kræfter i naturen – alt sammen ud fra en antagelse om, at der måtte findes ganske få fundamentale principper, og helst kun ét. Man søgte, hvad der blev kaldt en ”theory of everything”.

Det var heller ikke alle teoretikere, der fandt Bohrs fortolkning af kvantemekanikken acceptabel. Den satte grænser for erkendelsen, og den be nægtede, at teorier om atomare forhold kunne eksistere uden også at involvere den teoretiserende person som observatør. Specielt Einstein var imod opgivelsen af forestillingen om, at fysikken skulle kunne give et objektivt billede af virkeligheden. Man kan sige, at Einstein kæmpede for fysikkens ontologiske status, dvs. den skulle kunne hjælpe til at begribe verden, som den ”i virkeligheden er”, og ikke bare, som den kommer til syne for os.

Heisenberg og Bohr havde til gengæld – muligvis på hver deres måde

– opgivet forestillingen om en ontologisk funderet og deterministisk kausal beskrivelse af atomare processer. Brug af sandsynlighed som noget helt fundamentalt introducerede enten et subjektivt element i videnskaben eller, endnu værre for nogle, en form for indeterminisme i selve virkeligheden, hvor der lige pludselig ikke længere fandtes årsag og virkning. Einsteins relativitetsteori var en teori, der bevaredes mulighederne for forudsigtelse, fordi den tillod præcise beskrivelser og udledninger fra disse – men Bohr og Heisenberg benægtede, at der kunne foreligge sådanne præcise beskrivelser. Disse spørgsmål blev livligt diskuteret mange år frem, og modstandere af Bohrs fortolkning fremkom med tankeeksperimenter, der skulle vise, at han tog fejl. Han svarede på disse – typisk ved at vise, at de faktisk ikke gav de hævdede resultater, når de blev tænkt ordentligt igennem.

I løbet af 1950’erne og 60’erne fremkom alternative tolknings af kvantemekanikken. Deres billede af den fysiske virkelighed var om muligt endnu mere komplekst, end hvad der syntes acceptabelt, hvis man skulle bevare klassiske forestillinger om simple sammenhænge i verden. F.eks. antog den amerikanske fysiker David Bohm (1917-92), at der bag kvantemekanikkens ligninger fandtes et stort antal skjulte variable, der aldrig ville kunne måles. I stedet for at forstå kvantemekanikkens ligninger som sandsynligheder, kunne Bohm således fortolke kvantemekanikken ontologisk, dvs. som reelle partikler og bølger bevægende sig på normal vis i et deterministisk univers. Andre alternativer bestod i at postulere, at der fandtes lige så mange verdener, som der fandtes mulige udfald af et kvantemekanisk eksperiment. For hvert lille kvante-udfald opstår der med andre ord uendelig mange paralleluniverser, som alle er identiske, men eksisterer i forskellige tilstænde.

Den irske fysiker John Bell (1928-90) analyserede i 1960’erne situationen grundigt og påviste, at enten måtte man acceptere Bohr, eller også måtte man acceptere en model for verden, der involverede, at påvirkninger kunne ske øjeblikkeligt og over afstand, og altså dermed udbrede sig hurtigere end med lysets hastighed, hvilket ville være i strid med tanken om, at enhver overgang fra årsag til virkning må være kontinuert og ikke momentan – ligesom trækket fra et lokomotiv ikke går direkte til sidste vogn i togstammen, men bevæger sig via de mellemliggende vogne. Bells analyser var vigtige, fordi de ikke kun involverede tankeeksperimenter, men muliggjorde faktiske eksperimenter. Siden begyndelsen af 1970’erne har man gennemført sådanne. De har alle bekræftet Bells oprindelige resultater, og i dag anses Ein-

steins forestillinger om, at de atomare fænomener skulle kunne beskrives og forudsiges entydigt, og at de makroskopiske og mikroskopiske fænomener principielt skulle fungere ud fra samme principper, for at være forkerte.

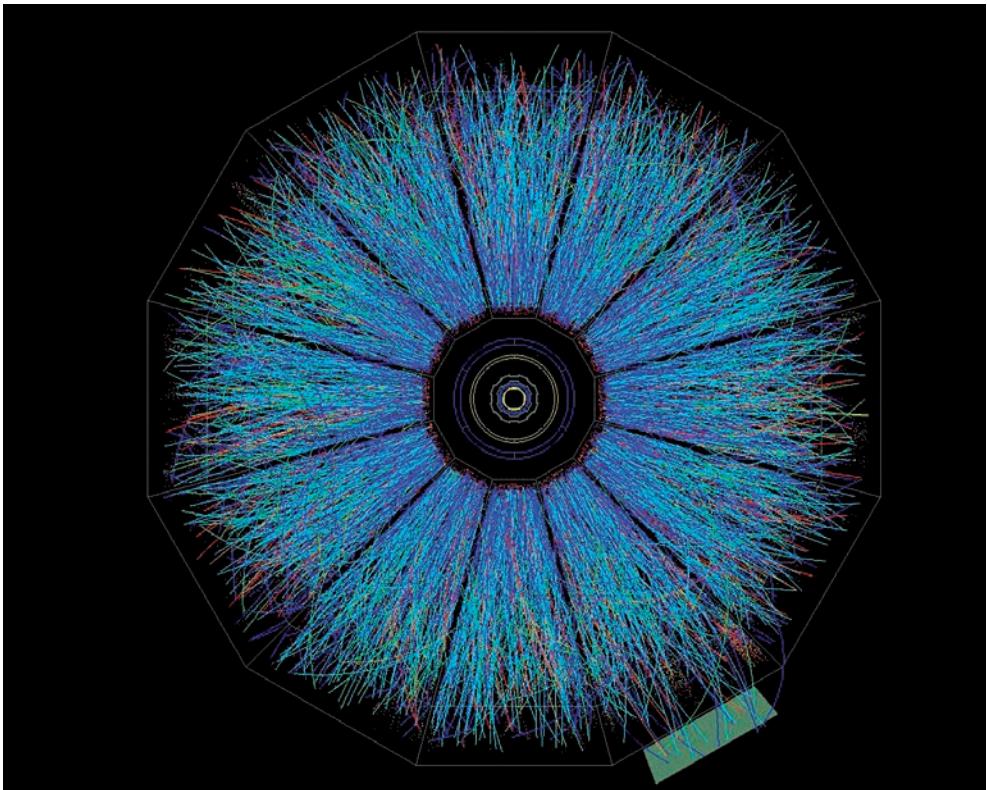
Enten er verden meget anderledes, end vi normalt tror, eller også må vi antage, at ”virkeligheden” i sig selv – især når vi ved målinger vil opnå erkendelse om, hvad der sker på det atomare niveau – forhindrer os i at vide, hvad der egentlig foregår; og selve forestillingen om, at der foregår ”noget egentligt”, er i denne sammenhæng uklar. Det er umuligt at skille viden om det observerede fra viden om sammenspiellet mellem observatør og det observerede.

Den dag i dag strider fysikere og filosoffer om den rette fortolkning af kvantemekanikken. Der er mange bud og ingen ”objektiv” grund til at tro mere på den ene forklaring end på den anden – undtagen hvis man mener, at forskelligheden i fortolkningerne af kvantemekanikken i sig selv kunne ses som et tegn på, at kvantetilstande er tilstande af utilstrækkelig viden snarere end tilstande af virkeligheden.

Hele udviklingen omkring relativitetsteorien og kvantemekanikken har haft afgørende konsekvenser for forståelsen af, hvad videnskab egentlig er. Man så på forholdsvis kort tid teorier, der havde været anset for helt fundationale forudsætninger for al erkendelse, blive forkastede og erstattet med andre og meget vanskeligt forståelige ideer. Hvor man omkring år 1900 havde en forestilling om et sammenhængende verdensbillede, så medførte udviklingen af videnskaben, at dette fortonede sig fuldstændigt. Hvor det omkring år 1900 var muligt stadig at tage udtrykket ”verdensbillede” bogstaveligt, så gik man i løbet af århundredet væk fra ”billeder” og over til succesrige matematiske formalismes – formalismes, som kun meget få kunne forstå og forbinde noget med. Ikke desto mindre fik teorierne masser af praktiske konsekvenser og teknologiske anvendelser. Transistoren, laseren, atombomben, atomreaktoren, og dermed den politiske situation efter 1945, og vores dagligdags situation med cd-afspillere og computere, alt dette blev frembragt i kraft af de nye teorier.

## Eksotiske tilstande

I jagten på atomers eksotiske tilstande har fysikere i løbet af 1900-tallet udviklet stadig større ”super-collidere” for at finde stadig mindre partikler. Ville man skrive en ultrakort europæisk idehistorie om, hvad der holder sammen



Tusinder af partikler eksploderer i kollisionspunktet for to guldatomer, som er blevet affyret mod hinanden i Brookhaven National Laboratorys partikelaccelerator, der har en styrke på 100 gigaelektronvolt. De elektrisk ladede partikler kan kendes ved deres afbøjede baner i måleinstrumentets magnetfelt.

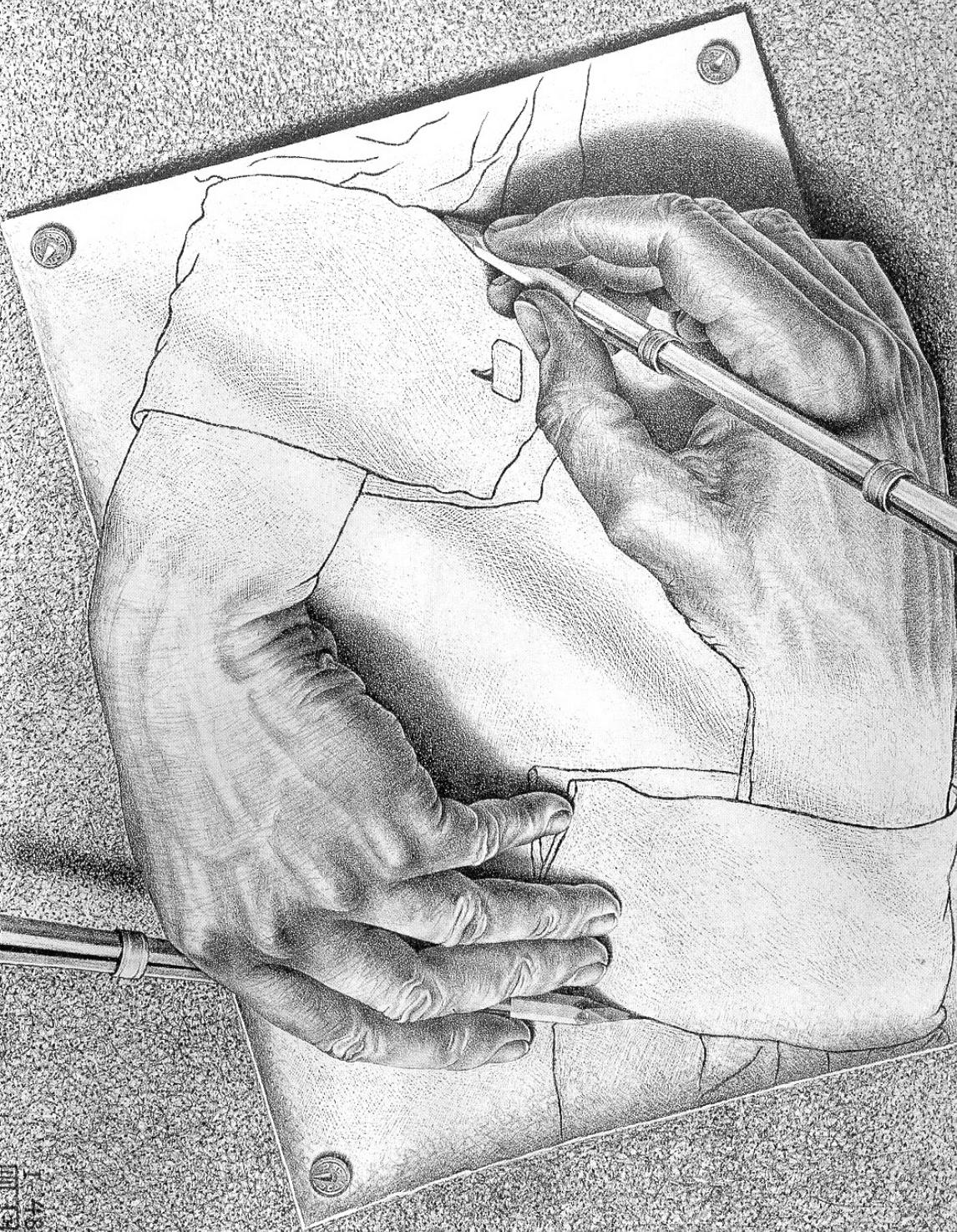
overvinde mytologien og tænke selv. Efter Thales kom mange andre bud på verdens substans. Anaximenes talte om luft, Anaximander om en slags ild, og Demokrit var overbevist om, at alt i kosmos bestod af atomer og det tomme rum. I en lettere modificeret udgave har denne antagelse holdt stand helt op til det 20. århundrede. Så kom Niels Bohr og kvantemekanikken og lavede om på det hele igen. Atomer var slet ikke de mindste bestanddele, idet de selv bestod af elektroner og en kerne (af protoner og neutroner). Og lige som Thales inspirerede sine elever til selv at arbejde videre, har fysikere efter Bohr forsøgt at flække atomkerner til endnu mindre dele. Siden har man opdaget et helt virvar af subatomare partikler: neutrinoer, positroner og et helt dusin af quarks med vidt forskellige egenskaber og masse.

på verden, kunne den formuleres omrent sådan her: det hele begyndte med grækeren Thales. Han mente, at verden bestod af vand. Han var søfarer og en praktisk mand, der med sine teorier om verdens gang opmuntrede folk til at

Men historien slutter ikke her. Blandt de nyeste teorier finder man bl.a. “superstrenge teorien”, som siger, at quarks består af noget endnu mindre. De består af en dansende lille trevl, en “superstrenge”. Enhver partikel er ifølge superstrenge teorien et udslag af en bestemt svingning af en vibrerende streng. Ligesom en violin kan skabe toner, kan superstrenge lave partikler og naturkræfter. Naturen er musik, spillet af en ukendt stryger. Man har ganske vist ikke eftervist superstrenge teorien eksperimentelt. Det kan man ikke. Strengene er så små, at de ikke har nogen masse eller udstrækning, og de ligner derfor mest af alt en matematisk konstruktion. Til gengæld håber fysikerne, at superstrenge teorien på et tidspunkt – når den vanvittigt komplicerede matematik en dag er regnet igennem – kan opklare alle verdens fysikkens problemer.

Den vil være en “enhedsteori”, som forener både Bohrs kvantemekanik (som omhandler de mindste dele som atomer og elektroner), Newtons fysik (som omhandler den dagligdags fysik, som vi kan se med det blotte øje) og Einsteins relativitetsteori (som omhandler de kæmpestore ting som stjerner og galakser). Den dag, det sker, vil superstrenge blive den basale tråd af forståelse, som binder hele verden sammen og gør den til et begribeligt sted. Det er i hvert fald drømmen.

Der er også en række andre teorier om universets mest elementære byggeklodser med kryptiske navne som “M-teori” og teorien om “loop quantum gravity”. Fælles for dem er dog, at de indtil videre er hinsides vores eksperimentelle formåen. Man kan simpelthen endnu ikke efterprøve dem og derfor heller ikke be- eller afkræfte deres rigtighed med normale videnskabelige metoder.



# 7

## I selverkendelsens lys

I begyndelsen af det 20. århundrede var der en stærk tiltro til, at alle nødvendige videnskabelige discipliner var blevet etableret med 1800-tallets landvindinger, og at det nu kun gjaldt om at fylde ud i de resterende huller af et stadig mere velbeskrevet og fuldendt naturvidenskabeligt verdensbillede. Den europæiske tænkning og forskning havde ikke blot erobret verdens kontinenter, luften og havet, men var godt på vej til at forstå hele menneskets udviklingshistorie, livets største gåder, tankens sande struktur og materiens inderste hemmeligheder. Det var derfor ikke underligt, at der indfandt sig en vis skråsikkerhed om emner, der rakte ud over de videnskabelige discipliner, hvilket ikke sjældent resulterede i forhastede konklusioner om, hvordan man skulle indrette samfundet.

Et grelt eksempel er Charles Darwins (1809-82) udviklingslære, som meget hurtigt blev tolket til kun at være et spørgsmål om, at man skal være stærk nok til at overleve i en fjendtlig verden. "Survival of the fittest" var det slagord, som den engelske filosof Herbert Spencer (1820-1903) havde brugt til at forsøre sine liberale ideer om individuel frihed, og som Darwin havde brugt til at forklare sin teori om arternes oprindelse med. Men både i USA og Europa blev Darwin og Spencer i stedet hurtigt brugt til at retfærdiggøre tvivlsomme politiske formål, såsom at marginalisere de svage og retfærdiggøre den hvide races dominans. Vigtige politiske personligheder

engagerede sig i politiske foreninger, som f.eks. i Francis Galtons (1822-1911) eugeniske selskab, der talte personer som den engelske premierminister Neville Chamberlain (1869-1940)

◀ I første halvdel af 1900-tallet begyndte det at vise sig, at videnskabens forsøg på at beskrive verden kan ende i problemer og paradoxer, fordi vi i vores beskrivelse altid selv indgår som en del af beskrivelsen. M.C. Escher: *Drawing Hands*, 1948 · The M.C. Escher Company BV, Baarn.

og den førende fortaler for USA's neutralitet, Charles Lindbergh (1902-74). Tvangssterilisationer og frenologiske studier – dvs. studier af menneskekraniets udformning – var i høj kurs helt frem til Anden Verdenskrig, der med Hitlertyskland kulminerede i sygelige racehygiejniske fantasier (se s. 347).

Et mindre hårrejsende, men alligevel betydningsfuldt eksempel er termodynamikkens anden lov, der siger, at evighedsmaskiner ikke findes, fordi uisolerede fysiske og kemiske systemer taber varme og øger deres entropi, når de udfører irreversibelt arbejde. Den anden lov blev derfor betragtet som det ultimative bevis for universets "varmedød": ligegyldigt hvordan man vender og drejer det, vil universet langsomt og med usvigelig sikkerhed nærme sig en tilstand, hvor al energi er ligeligt fordelt overalt i en stor, ensartet grød. "Die Entropie des Universums strebt einem Maximum zu" – universets entropi tilstræber et maksimum – var, hvad Rudolf Clausius (1822-88) havde proklameret i 1865. Ikke nok med at mennesker, civilisationer og kunst, ligesom kærlighed, håb og tro, blot var at betragte som et resultat af tilfældige sammenstød af atomer, der farer forvildet omkring – det var hermed også bevist, at alt det smukke og gode, der fandtes i denne og andre verdener, ville forsvinde, og at universet til sidst ville ende i en præetermineret ligegyldighed; en flad suppe af elementarpartikler, der langsomt skvulpede døden i møde.

Også Freuds (1856-1939) psykoanalyse føjede sig til denne kritik af menneskets forestilling om sig selv som universets centrum. Hans teorier om det ubevidste betød, at determinismen ikke længere blot var til stede i det materielle liv, men i lige så høj grad i vores sjæleliv, i vores sansninger, drifter og seksuelle forlangender.

Alle disse "endegyldige" videnskabelige fortællinger (som skulle vise sig ikke at være så endegyldige endda) gav brændstof til en række kulturpessimistiske strømninger, der især yttrede sig i litteraturen, kunsten og filosofien. Man troede, at man så at sige havde nået et videnskabeligt højdepunkt, og at det herfra kun kunne gå nedefter igen. Det sås f.eks. hos Oswald Spengler (1880-1936), der skrev om civilisationers nødvendige forfal, *fin de siècle*-kunstens undergangsæstetik eller digteren T.S. Eliots (1888-1965) skepsis over for os "hule mænd", som får verden til at ende "Ikke med et brag, men med en hvissen".

Dette kapitel handler om, hvordan den naturvidenskabelige forskning

i løbet af 1900-tallet afmonterede mange af de klippefaste videnskabelige overbevisninger fra 1800-tallet og erstattede dem med nye, mere præcise, men også mere relativende lovmæssigheder. Det viste sig nemlig gang på gang, at det endegyldige bevis for dette eller hint ikke lod sig finde, og at det, man tidligere troede var så nemt og entydigt, faktisk var særdeles kompliceret. De kultur pessimistiske strømninger, der modstræbende havde accepteret videnskabens sejrsgang, kunne derfor langsomt udvikle en ny spontanitet, efterhånden som det blev tydeligt, hvor lidt man i naturvidenskaben egentlig vidste og kunne gøre.

## Formaliseringens grænser i matematik og logik

Ved indgangen til 1900-tallet var mange forskere enige om, at matematik og logik nød en speciel status inden for de videnskabelige fag til forskel fra andre discipliner såsom kemi, fysik og biologi. Matematik og logik blev anset som perfekte, statiske og evige former for viden, der ikke nødvendigvis havde empiriske koblinger til virkeligheden. De blev derfor defineret som formelle videnskaber. “Hvordan er det muligt,” spurgte Albert Einstein (1879-1955) i 1921, “at matematik, som er et produkt af den menneskelige tanke uafhængig af erfaringen, passer så fortræffeligt til de objekter, vi møder i den fysiske virkelighed?”, og fysikeren Eugene Wigner (1902-95) talte for mange kolleger, når han udbredte sig om “matematikkens urimelige effektivitet inden for naturvidenskaberne.”

Alligevel skulle det vise sig, at forsøgene på at forstå virkeligheden ud fra den rene matematik og logik heller ikke gik ram forbi af ubestemmeligheder og paradoxer. I løbet af det 20. århundrede åbenbaredes der en lang række problemer omkring matematikkens fundamenter, og selv de mest basale principper omkring hvad et tal er, hvad et bevis er, og hvorvidt matematiske objekter eksisterer eller ej, blev debatteret i indædte kontroverser. På en måde var det Richard Dedekind (1831-1916) og Georg Cantor (1845-1918) fra kapitel fem, der startede denne “grundlagskrise” med deres meta-matematiske overvejelser omkring, hvad uendelige mængder og tal er. Men der skulle gå 20-30 år, før det gik op for enkelte matematikere hvilke konsekvenser, disse overvejelser reelt havde for forsøgene på at formalisere og aritmetisere hele matematikken. Men i og med at formaliseringens grænser blev påvist af tænkere som Bertrand Russell (1872-1970), Kurt Gödel

1.	2,	3	9	7	2	0	4	8	1	7	...
2.	14,	5	2	6	7	1	3	8	0	9	...
3.	0,	4	5	8	3	1	0	1	2	3	...
4.	292,	2	7	5	4	1	8	8	3	1	...
5.	12,	0	0	2	2	0	0	0	2	5	...
6.	1,	9	9	9	9	0	4	6	8	1	...
.	.										.
		0	6	8	3	1	7	5	...		

Med sit berømte diagonalbevis kunne Cantor vise, at de reelle tal ikke kunne tælles, det vil sige sættes i en en-til-en korrespondance med de naturlige tal 1, 2, 3, 4..., og at de reelle tal derfor måtte have en "højere grad af uendelighed" end de naturlige eller de rationelle tal. Beviset går i al sin simpelhed ud på at forsøge at lave en liste af alle mulige reelle tal. Seks af dem er listet til højre i figuren. Tallene til venstre er de korresponderende naturlige tal, som "tæller" de reelle tal, og man skal forestille sig, at rækken fortsætter i det uendelige. Nu kan man blot skrive et nyt reelt tal nederst i listen, som dannes ved at udskifte den første decimal på det første reelle tal med et tilfældigt andet, dernæst den anden decimal på det andet reelle tal, og så fremdeles. Dette nye tal forneden kan umuligt være i listen, fordi tallet jo ikke kan være ens med det første tal, idet den første decimal er anderledes. Det kan heller ikke være ens med det andet tal, fordi den anden decimal er forkert osv. Idet vi jo fra start antog, at listen indeholder *alle* de reelle tal, har vi fundet en modstrid. Ergo kan man ikke lave en tællelig liste af de reelle tal. De reelle tal har således en højre orden af uendelighed end de naturlige tal.

le tal – som  $\pi$  og  $e$  – er meget større end antallet af hele tal havde et lige antal af medlemmer; at antallet af punkter på et linjestykke er lig med antallet af punkter på en uendelig linje og på en flade, og at antallet af såkaldte transcendentale tal – som  $\pi$  og  $e$  – er meget større end antallet af hele tal. Det hele lød så forrykt, at selv jesuiterne mente, at de nu igen kunne bevise Guds og treenighedens eksistens.

Den slags anvendelser holdt Cantor sig dog fra. I stedet mente han, at man kunne slutte sig til geometriens og dermed rummets opbygning ved at opdele et linjestykke i dimensionsløse punktmængder, altså talmængder, og derudfra konstruere kontinuet som en bestemt egenskab ved disse punktmængder. Cantors mængdelære og hans diagonalbevis (se diagrammet)

(1906-78) og Alan Turing (1912-54), opstod der en art matematisk revolution: opdagelsen af fundamentalt nye koncepter om matematisk beregne-lighed og uberegnelighed, nye tanker om kompleksitet og tilfældighed og ikke mindst forudsætningerne for udviklingen af den moderne computer.

Matematikken havde i løbet af meget kort tid fået status som sandhedenstalerør – faktisk i så høj grad, at man mente at kunne forklare hele virkelighedens struktur ud fra kombinationer af matematiske objekter. F.eks. udviklede fornævnte tysk-russiske matematiker Georg Cantor i årene 1871-84 en teori om de uendelige mængder, der forbavsede ham selv så meget, at han i et brev til en ven skrev: "Jeg ser det, men jeg tror ikke på det." I en serie af artikler mellem 1874 og 1897 beviste han blandt andet, at den uendelige mængde af hele tal havde et lige antal af medlemmer; at antallet af punkter på et linjestykke er lig med antallet af punkter på en uendelig linje og på en flade, og at antallet af såkaldte transcendentale tal – som  $\pi$  og  $e$  – er meget større end antallet af hele tal. Det hele lød så forrykt, at selv jesuiterne mente, at de nu igen kunne bevise Guds og treenighedens eksistens.

viste, at der er forskellige grader af uendelighed. Størrelsen af mængden af reelle tal er for eksempel meget større end mængden af naturlige tal. Så selvom der findes en uendelig række af positive hele tal, så vil disse kun udgøre en forsvindende lille brøkdel af antallet af reelle tal. Desuden mente Cantor, at der ikke findes noget uendeligt sæt af tal, som er større end mængden af positive hele tal og samtidig mindre end mængden af reelle tal, hvilket han brugte til at formulere en hypotese om kontinuets beskaffenhed.

Det var tydeligt at se, at hele denne jongleren med tal og mængder kom fra en uhørt fantasifuld og original tænker, men man kunne lige så vel spørge, om det overhovedet var matematik? Reaktionerne blandt Cantors kolleger var i hvert fald ekstreme. Enten elskede de det, eller også havdede de det. Den tyske matematiker David Hilbert (1862-1943) forgudede teoriens abstraktionsgrad og generalitet og proklamerede, at “ingen skal udstøde os fra det paradis, som Cantor har skabt for os”, mens den franske matematiker Henri Poincaré (1854-1912) erklærede, at “senere generationer vil anse mængdelæren som en sygdom, af hvilken man er blevet helbredt.” Det var i hvert fald første gang en matematiker så konsekvent havde brugt matematik til at tænke over, hvad selve det matematiske apparat er i stand til at udsige. Det var meta-matematik. For tilhængerne af Cantor indvarslede mængdelæren en ny periode, hvor man håbede på at kunne komme til bunds i de logisk-matematiske strukturer, som styrer denne verden, og hvor man ved hjælp af et begrænset sæt af sel vindlysende sandheder ville kunne frembringe en matematisk formalisme, der ikke længere var plaget af sprogets og fornuftens flertydigheder.

Men det skulle vise sig, at Cantors mængdelære samtidig indeholdt kimen til enden på selv samme håb om endelig matematisk afklaring. Man opdagede snart efter, at ikke kun vores sprog og intuitive menneskelige fornuft var begrænset. Selve det naturvidenskabelige ideal, den urørlige logiske og matematiske formalisme, viste sig at være modtagelig for selvmodsiger. Bertrand Russell var den første, der opdagede, at Cantors mængdelære kunne føre til nogle grimme paradoxer. Det varinden, han sendte sit brev til Gottlob Frege (1848-1925) i 1902 (s. 219). Russell spurgte sig selv: hvilke egenskaber har mængden af alle delmængder af den universelle mængde (dvs. den, som indeholder alt)? Problemets var, at Cantors hierarki af mængder indebar, at mængden af alle delmængder af en given mængde altid var

større end mængden selv. Det var på den måde, kardinaltallene var opbygget. Men når man kigger på den universelle mængde, så kan mængden af alle delmængder af den universelle mængde umuligt være større end den universelle mængde – af den simple årsag, at den universelle mængde allerede indeholder alt. Paradokset minder om det klassiske barber-paradoks, der fortæller om en barber, der barberer alle, som ikke barberer sig selv. Men hvem – kan man spørge – barberer barberen? Ifølge definitionen barberer han kun sig selv, når han ikke barberer sig selv. Og det er umuligt. Med hensyn til barberen kan man selvfølgelig hurtigt finde en vej ud af paradokset ved enten at nægte, at en sådan barber overhovedet eksisterer, eller ved at sige at han har fuldkæg eller ingen skægvækst. Men hvad kan der være galt med hensyn til Russells paradoks omkring mængden af alle mængder, der ikke er medlem af sig selv?

Det var et problem. Der viste sig også en masse andre og lignende paradoxer, bl.a. formuleret af Cesare Burali-Forti (1861-1931), Julius König (1849-1913) og Jules Richard (1862-1956). Grundlagskrisen fik mange matematikere til at spørge sig selv, om det ikke var bedre at trække sig tilbage til ældre og mere sikre måder at tænke matematik på. Der udvikledes hurtigt tre forskellige skoler, som havde hver deres filosofiske bud på en vej ud af matematikkens grundlagskrise: konstruktivisterne, også kaldet intuitionisterne; logicisterne med Bertrand Russell og Alfred North Whitehead (1861-1947) som fortalere; og formalisterne med David Hilbert som den mest berømte frontfigur.

Den mest kendte intuitionist – eller konstruktivist – var den hollandske matematiker Luitzen Egbertus Jan Brouwer (1881-1966). Han brød sig ikke om mængdelæren. Han kaldte det for “teologisk” matematik. Hvis matematikere vil bevise en tings eksistens, sagde han, skal de kunne vise den eller beregne den, og ikke bruge den slags tricks, hvor man først antager, at en ting ikke eksisterer, hvorefter man viser, at det fører til en selvmodsigelse. Denne form for logik bliver også kaldt *reductio ad absurdum*, reduktion til det absurde. Brouwer mente, at fremgangsmåden i sig selv var absurd. Hvis man skal bevise, at noget eksisterer, skal man kunne angive en endelig procedure, der konstruerer det. Brouwer nægtede derfor også gyldigheden af det velkendte *tertium non datur* – det udelukkede tredjes princip, der stammer fra Aristoteles (384-322 f.v.t.), og som siger, at der for ethvert udsagn P gælder, at P er enten sandt eller falsk.



Inspireret af vitalismen opponerede Brouwer også mod matematikernes ”atomistiske” forståelse af tid og rum. At forestille sig tiden som en linje fyldt op af punktmængder, eller at forestille sig det kontinuerte rum som et uendelig tæt sammenrend af dimensionsløse punkter, var for Brouwer en matematisk idealisering, ikke virkelighed.

Det var et godt værktøj til at modellere fysiske fænomener, utvivlsomt, men det var ikke i nærheden af at kunne påstå at være objektiv viden om tidens og kontinuets ”væsen”. For at kunne forstå dette kontinuum måtte der være noget mere; noget som ikke kan fanges af lingvistiske, formelle og logiske strukturer. Dette ”mere” var individets *intuition*. Brouwer mente, at han hermed havde præciseret Immanuel Kants (1724-1804) ide om menneskets intuitive erkendelse af rum og tid – det såkaldt syntetiske apriori, som Kant havde udviklet i sit forsøg på at sammentænke Leibniz’ (1646-1716) og Newtons (1643-1727) positioner (s. 137-139). Kant havde blot forvekslet selve kontinuet med en bestemt geometri. ”Den oprindelige fortolkning af kontinuet hos Kant og Schopenhauer som en ren apriori intuition kan i principippet opretholdes”, fastslag Brouwer. Blandt væsentlige forgængere for Brouwers intuitionisme kan man finde fornævnte matematiker Henri Poincaré. Poincaré havde dog en mindre individualistisk tilgang til intutionen end Brouwer, da han argumenterede for, at vores umiddelbare forestilling af tid og rum var resultatet af en evolutionær proces.

Brouwer var fortaler for en konstruktivistisk matematik, som var baseret på opbyggende beviser og ikke på logisk baserede følgeslutninger. Ifølge ham skulle matematik være konstruktiv og konkret, og ikke forlade sig på logiske reduktioner og selvrefererende luftkasteller. Andre matematikere, logicisterne, gik den stik modsatte vej, som f.eks. italieneren Giuseppe Peano (1858-1932). Han ville gøre matematikken abstrakt i en sådan grad,

Aristoteles’ *tertium non datur* siger, at der for ethvertudsagn P gælder, at P er enten sandt eller falsk. Brouwer accepterede ikke dette, i hvert fald så længe P indeholdt en uendelig række af tal . Distr. PIB Copenhagen.

\*54·42.  $\vdash :: \alpha \in 2 . \text{D} :: \beta \subset \alpha . \exists ! \beta . \beta \neq \alpha . \equiv . \beta \in \iota^{\prime\prime} \alpha$

*Dem.*

$\vdash . *54·4 . \text{D} \vdash :: \alpha = \iota^{\prime} x \cup \iota^{\prime} y . \text{D} ::$

$$\beta \subset \alpha . \exists ! \beta . \equiv : \beta = \Lambda . \forall . \beta = \iota^{\prime} x . \forall . \beta = \iota^{\prime} y . \forall . \beta = \alpha : \exists ! \beta :$$

$$[*24·53·56.*51·161] \quad \equiv : \beta = \iota^{\prime} x . \forall . \beta = \iota^{\prime} y . \forall . \beta = \alpha \quad (1)$$

$\vdash . *54·25 . \text{Transp. } *52·22 . \text{D} \vdash : x \neq y . \text{D} . \iota^{\prime} x \cup \iota^{\prime} y \neq \iota^{\prime} x . \iota^{\prime} x \cup \iota^{\prime} y \neq \iota^{\prime} y :$

$$[*13·12] \quad \text{D} \vdash : \alpha = \iota^{\prime} x \cup \iota^{\prime} y . x \neq y . \text{D} . \alpha \neq \iota^{\prime} x . \alpha \neq \iota^{\prime} y \quad (2)$$

$\vdash . (1) . (2) . \text{D} \vdash :: \alpha = \iota^{\prime} x \cup \iota^{\prime} y . x \neq y . \text{D} ::$

$$\beta \subset \alpha . \exists ! \beta . \beta \neq \alpha . \equiv : \beta = \iota^{\prime} x . \forall . \beta = \iota^{\prime} y :$$

$$[*51·235]$$

$$\equiv : (\exists z) . z \in \alpha . \beta = \iota^{\prime} z :$$

$$[*37·6]$$

$$\equiv : \beta \in \iota^{\prime\prime} \alpha \quad (3)$$

$\vdash . (3) . *11·11·35 . *54·101 . \text{D} \vdash . \text{Prop}$

\*54·43.  $\vdash :: \alpha, \beta \in 1 . \text{D} : \alpha \cap \beta = \Lambda . \equiv . \alpha \cup \beta \in 2$

*Dem.*

$\vdash . *54·26 . \text{D} \vdash :: \alpha = \iota^{\prime} x . \beta = \iota^{\prime} y . \text{D} : \alpha \cup \beta \in 2 . \equiv . x \neq y .$

$$[*51·231] \quad \equiv : \iota^{\prime} x \cap \iota^{\prime} y = \Lambda .$$

$$[*13·12] \quad \equiv : \alpha \cap \beta = \Lambda \quad (1)$$

$\vdash . (1) . *11·11·35 . \text{D}$

$$\vdash :: (\exists x, y) . \alpha = \iota^{\prime} x . \beta = \iota^{\prime} y . \text{D} : \alpha \cup \beta \in 2 . \equiv . \alpha \cap \beta = \Lambda \quad (2)$$

$\vdash . (2) . *11·54 . *52·1 . \text{D} \vdash . \text{Prop}$

From this proposition it will follow, when arithmetical addition has been defined, that  $1 + 1 = 2$ .

Det tog Russell og Whitehead 362 sider at komme frem til, at resultatet nederst er logisk. *Principia Mathematica* (1910-13).

at den kunne undgå enhver berøring med det naturlige sprog og dermed undgå den menneskelige fejlbarlighed. Dette skulle ske ved udviklingen af en såkaldt symbolsk

logik, der var konsistent og fejlfri, og som kun behøvede at referere til sig selv. Bertrand Russell og Alfred North Whitehead forsøgte at følge Peanos idealer i deres monumentale værk *Principia Mathematica* (1910-13), hvor de brugte et helt bind til at bevise, at  $1+1=2$ . De brød argumenterne ned i så små stumper, at det tog dem hundreder af sider og tusinder af mængdeteoretiske overvejelser og logiske følgeslutninger for at komme frem til dette storsslæde resultat. Russell og Whitehead forsøgte at gendrive Kants forestillinger om det syntetiske apriori inden for aritmetikken, ligesom Einstein havde gjort det få år før inden for geometrien ved at vise, at universet bedst kan beskrives ved en ikke-euklidisk geometri; at der med andre ord ikke

forud for vores bevidsthed fandtes nogen ren geometri, der var bedst egnet til at udtrykke vores erfaring. Russells og Whiteheads parallelle “anti-kantianske” program skulle vise, at talteori kunne deduceres ud fra ren logik – altså at tal og alle deres egenskaber i bogstaveligste forstand kun var logiske konstruktioner. Deres anstrengelser førte til en række kontroverser. Mere om dem om lidt.

Den tredje matematiske skole fra begyndelsen af 1900-tallet, som havde (og har) stor indflydelse på praktiserende matematikere, var formalisterne. Formalisternes fremmeste fortaler var den tyske matematiker David Hilbert, der ligesom Kant kom fra Königsberg. Han forsøgte at finde en mellemvej mellem intuitionisternes evigt foranderlige univers af åbne objekter og logicisternes frosne og platoniske verden af uforanderlige former.

I år 1900 holdt Hilbert en tale, hvor han fremlagde en liste med 23 matematiske problemer, som gerne skulle løses af matematikerne i det kommende århundrede. Når det var gjort – sådan var drømmen – kunne matematikerne en gang for alle læne sig tilbage og nyde den komplette formalisering, som var hævet over enhver usikkerhed, og som før eller siden – hvis man anstrengte sig tilpas meget – ville kunne besvare ethvert matematisk spørgsmål, der endnu var åbent. Det ville være enden på matematik. Den aksiomatiske metode skulle føres til ende, og man skulle eliminere al sproglig usikkerhed og intuitiv tænkning ved at opbygge et kunstigt sprog, der var præcist, komplet og, som han udtrykte det, ”mekanisk”.

I modsætning til Brouwer mente Hilbert, at ethvert matematisk udsagn kunne vises at være sandt eller falskt efter et endeligt antal af operationer – lidt ligesom en computeralgoritme, der tygger sig igennem masser af tal for til sidst at finde en løsning. Da matematik jo er, som Hilbert sagde, ”en leg med meningsløse symboler på et stykke papir”, behøvede symbolerne blot at følge nogle syntaktiske regler, hvorefter man ved hjælp af logiske følgeslutninger og et lille sæt af modsigelsesfrie og uafhængige aksiomer – altså nogle principper, som accepteres uden bevis – kunne starte legen. Man kunne så manipulere symbolerne efter reglerne uden at lade sig forvirre af, hvad symbolerne betød. Hilberts såkaldte ”Entscheidungsproblem” (beslutningsproblem) sigtede altså på at etablere et sådant fuldendt formelt system, og de fleste praktiserende matematikere ville have været lykkelige, hvis dette ambitiøse program var lykkedes. Det eneste problem var blot, at det var umuligt.

## Gödels bevis

I 1930'erne viste Kurt Gödel og Alan Turing, at det var umuligt at formalisere al matematik. Hvorfor? Fordi ethvert formelt aksiomatisk system enten er inkonsistent eller ufuldstændigt. At et formelt aksiomatisk system er inkonsistent betyder, at det beviser falske teoremer, falske sætninger. At et formelt aksiomatisk system er ufuldstændigt betyder, at det ikke beviser alle sande teoremer. Begge ting er ganske irriterende, når man nu har gjort sig så mange anstrengelser for at gøre det omvendte: at opbygge et konsistent og fuldstændigt formelt system, som kan vise, om et hvilket som helst matematisk udsagn i systemet er rigtigt eller forkert.

Gödels bevis blev offentliggjort i et tysk tidsskrift under titlen "Über formal unentscheidbare Sätze der *Principia Mathematica* und verwandter Systeme" (om uafgørlige sætninger i *Principia Mathematica* og relaterede systemer). Analysen var en enorm kraftpræstation. For at komme i gang skulle Gödel først udarbejde 46 forberedende definitioner og gennemgå en lang række indledende teoremer.

For at give en fornemmelse af argumenterne i Gödels bevis skal det her gennemgås – men på et

plan, der bruger andre definitioner af "konsistens" og "fuldstændighed" end dem, Gödel brugte. De er dog semantisk ækvivalente. Gödel startede med at kigge på det klassiske løgnerparadoks: "Denne sætning er usand." Hvilken lære kan man drage ud af dette paradoks? Hvis sætningen taler sandt, er den usand. Hvis den er usand, er den sand. Det betyder, at den hverken kan være sand eller usand, og det er ikke tilladt i den konventionelle matematik ifølge det før-



I René Magrittes' berømte billede *Ceci n'est pas une pipe* fra 1926 behandles problemet med at sammenblande ting og deres repræsentationer. Det er jo faktisk ikke en pibe, man ser, men kun et billede af den. Og selv hvis der hang en "rigtig" pipe i stedet for et billede af den, kunne sætningen stadig være sand: piben kunne være en attrap, eller sætningen kunne referere til læredets baggrundsfarve, ikke til piben. Gödels sætning "Denne sætning er ubeweiselig" viser, at paradoxer kan stikke dybere endda. Hans sætning refererer kun til sig selv, og ikke til noget uden for det aksiomatiske system (et billede, en attrap eller en baggrundsfarve). Og stadig kan vi ikke afgøre, om sætningen er sand eller falsk. Los Angeles County Museum of Art © René Magritte/billedkunst.dk.

På trods af konstruktivisterne/intuitionisternes advarsler har fysikere og matematikere som regel ingen problemer med uendeligheder, paradoxer og singulariteter.

omtalte *tertium non datur*. Over- sat til matemati- ske ligninger ville denne sætning altså være utiladelig.

Men hvad sker der, når man kigger på udsagnet “Denne sætning er ubeviselig”, og koder den som numeriske ligninger, således at den udgør et bestemt formelt aksiomatisk system (med 46 definitioner). Ville denne sætning også være utiladelig? Der er to muligheder. Enten er sætningen beviselig, og altså et tilladeligt matematisk teorem, eller ubeviselig, og derfor et utiladeligt teorem (det må lige nævnes, at en sætning, der er “beviselig” i moderne logik, betyder, at den også er sand, mens det for en sætning ikke er nok at være sand for at være beviselig. Med andre ord er prædikatet “sand” – forstået som værende i overensstemmelse med virkeligheden – nødvendigt for en beviselig sætning, men ikke tilstrækkeligt til at den kan bevises). I tilfælde af at sætningen er beviselig, må dens indhold altså være sandt, dvs. at dens semantiske indhold er i overensstemmelse med virkeligheden. Men da sætningen jo siger, at den er ubeviselig, betyder det, at den er usand. Her er vi igen i en aksiomatisk utiladelig situation, fordi vi hermed beviser en forkert sætning. Ergo arbejder vi med et inkonsistent aksiomatisk system, som indeholder usande teoremer. Det må ikke ske. Lad os derfor kræve, at det ikke kan ske! Vi kræver – som nødvendig hypotese – at Gödels sætning er ubeviselig. Men det er heller ikke godt, fordi vi så ved, at sætningen “Denne sætning er ubeviselig” er sand – og dermed er vores analyseapparat jo ufuldstændigt. Det fanger ikke alle sande sætninger. Konklusionen må være, at vores formelle aksiomatiske system enten beviser usande sætninger (meget ubehageligt), eller at den ikke kan bevise alle sande sætninger (mindre slemt, men ærgerligt). Hvis man kræver konsistens, bliver det ufuldstændigt. Hvis man kræver fuldstændighed, bliver det inkonsistent. Matematik i den form,

For Guds skyld, Ludvig!  
Har du virkelig aldrig set  
et hul i rumtiden før?



Hilbert forestillede sig, undslipper ikke paradokserne: den fuldstændige formalisering er umulig.

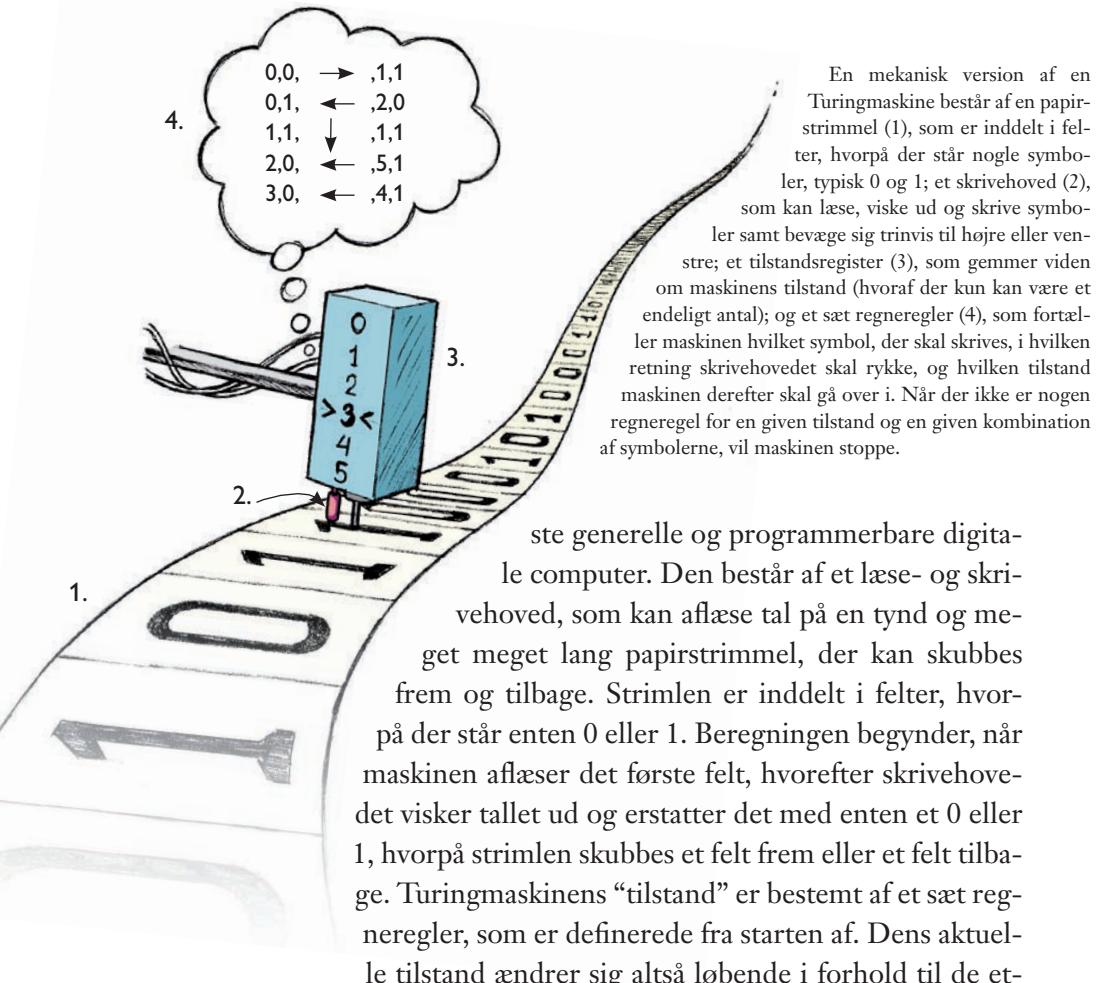
Reaktionerne var til at starte med stor forbløffelse. Logikkens og matematikkens fundamenter var pludselig blevet gennemhullet, og mange matematikere mistede en hel del entusiasme til at fortsætte ud af den vej, som Hilbert havde udstukket for dem. Men det viste sig i løbet at meget kort tid, at matematikernes normale hverdag slet ikke blev berørt af Gödels resultater. Man kunne lige så godt ignorere problemerne og fortsætte som altid, fordi man kun ville komme i problemer i de mest obskure og mærkelige udkanter af matematisk forskning. Selv i dag er Gödels bevis mere berømt blandt videnskabsteoretikere og filosoffer end blandt praktiserende matematikere.

Det er også interessant at iagttage, at Brouwers konstruktivistiske matematiske filosofi er den eneste, som undgår paradokser og inkonsistenser. Det skyldes, at Brouwer er meget forsigtig med hensyn til, hvad man ifølge ham kan udtales sig om. Men på trods af det har den matematiske konstruktivisme altid været den mest marginaliserede blandt de matematiske skoler, der opstod i begyndelsen af 1900-tallet. Måske skyldes det den omstændighed, at tal og matematiske beviser virker så reelle, så virkelige, når man sidder og arbejder med dem dagen lang, at de fleste matematikere får et meget “platonisk” forhold til deres fag. Matematikkens urimelige effektivitet med hensyn til at beskrive verden kan nærmest tvinge én til at tro, at matematik er lige så konkret og virkeligt som den stol, man sidder og arbejder på.

## Turing og den universelle maskine

Den engelske matematiker Alan Turing fremlagde i 1936 en endnu dybere begrundelse for ufuldstændighed end Gödel, samtidig med at han udviklede det teoretiske grundlag for den moderne computer. I Alan Turings samtid blev ordet “computer” stadig forstået som værende et menneske, der arbejdede med at beregne. Det var derfor en meget kontroversiel ide at betragte mentale processer som noget, der kunne splittes op i simple mekaniserbare operationer.

En såkaldt Turingmaskine er en abstrakt repræsentation af en regnemaskine. Selvom Turing ikke rent fysisk byggede den første “moderne” computer – det gjorde amerikaneren John Vincent Atanasoff (1903-95) – kan man med god ret sige, at Alan Turing på et teoretisk plan opfandt den før-



En mekanisk version af en Turingmaskine består af en papirstrimmel (1), som er inddelt i felter, hvorpå der står nogle symboler, typisk 0 og 1; et skriveauhoved (2), som kan læse, viske ud og skrive symboler samt bevæge sig trinvis til højre eller venstre; et tilstandsregister (3), som gemmer viden om maskinenes tilstand (hvoraf den kun kan være et endeligt antal); og et sæt regneregler (4), som fortæller maskinen hvilket symbol, der skal skrives, i hvilken retning skriveauhovedet skal rykke, og hvilken tilstand maskinen derefter skal gå over i. Når der ikke er nogen regneregel for en given tilstand og en given kombination af symbolerne, vil maskinen stoppe.

ste generelle og programmerbare digitale computer. Den består af et læse- og skriveauhoved, som kan aflæse tal på en tynd og meget meget lang papirstrimmel, der kan skubbes frem og tilbage. Strimlen er inddelt i felter, hvorpå der står enten 0 eller 1. Beregningen begynder, når maskinen aflæser det første felt, hvorefter skriveauhovedet visker tallet ud og erstatter det med enten et 0 eller 1, hvorpå strimlen skubbes et felt frem eller et felt tilbage. Turingmaskinens "tilstand" er bestemt af et sæt regneregler, som er definerede fra starten af. Dens aktuelle tilstand ændrer sig altså løbende i forhold til de et-

taller og nuller, den møder på vejen. Maskinen kan for eksempel være i tilstand 7, hvor den har en regel om at skrive 0, når den møder et 1-tal, for dernæst at bevæge sig et hak til venstre og gå over i tilstand 5. Når den så læser et 0 i tilstand 5, kan reglen være, at den skal skrive 1, gå én til højre og skifte til tilstand 12 osv. Turingmaskinen er altså en mekanisk bureaucrat, som ikke behøver frokostpauser eller toiletbesøg. Den gør præcis de ting, den får besked på ved at slå op i en prædefineret og endelig tabel, som den kan huske, og derefter rykke rundt på ettaller og nuller.

I virkeligheden er en Turingmaskine en abstraktion af et computerprogram, snarere end en maskine – dvs. den er egentlig et stykke software, ikke hardware. Man kan vise, at man kan lave Turingmaskiner, der på trods af deres ekstreme simpelhed kan beregne en hvilken som helst funktion, som en normal digital computer kan beregne. Den skal blot have nok tid og

papir. Turingmaskinen er derfor en konkret definition af, hvad en effektiv algoritme er. At en algoritme er effektiv forstås her, som at den skal have et endeligt antal veldefinerede trin, der kan udføres mekanisk, og at den med det samme input altid skal producere det samme output.

På et idehistorisk plan var Turingmaskinen meget vigtig, fordi den var en konkret realisering af Hilberts ide om at transformere hele matematikken til en formel mekanisk proces, hvor man ikke behøver andet end slavisk at følge et endeligt antal opskrifter for at bevise et hvilket som helst teorem. Dette var formuleringen af Hilberts "Entscheidungsproblem", og Turings svar var, at der ikke findes nogen "Entscheidung", dvs. at der ikke findes nogen effektiv metode eller mekanisk procedure, ikke nogen computer eller noget computerprogram, som på forhånd kan afgøre, om et vilkårligt andet computerprogram stopper, dvs. får regnet sig færdig til et resultat eller ej. Dette kaldes Turings "stop-problem". Gödels ufuldstændighedsteoremet er så blot en naturlig følge af stop-problemet, fordi hvis man kan vise, at det er umuligt at afgøre, om et computerprogram stopper, så kan der heller ikke findes et fuldstændigt og konsistent sæt af aksiomer, med hvilke man kan slutte sig frem til, om en matematisk sætning kan bevises eller ej, idet aksiomerne jo ville kunne oversættes til en effektiv algoritme.

Gödels og Turings arbejder rejste væsentlige spørgsmål for grænserne for formel tænkning. Selv det at antage, at noget var "falskt" eller "sandt" i matematisk forstand, var blevet problematisk, fordi begge kategorier var blevet beviseligt ubeviselige. En platonist som Gödel kunne måske godt tro på, at kontinuumshypotesen var falsk, ligesom Cantor mente, at den var sand, men nu var det ikke længere en sag, der kunne afgøres ved hjælp af matematik eller logik. Den amerikanske matematiker Paul Joseph Cohen (1934-2007) kunne i forlængelse af Gödels og Turings arbejde i 1960'erne vise, at kontinuumshypotesen for den sags skyld både kunne være sand og falsk, uden at det ville påvirke mængdelærrens øvrige aksiomer. Nogle matematikere begyndte derfor at anse Cantors mængdelære som en forkert måde at gøre sagen an på. I stedet for at reducere et linjestykke til et sæt af individuelle punkter og tal, for derpå at konstruere et kontinuum, forsøgte man at forstå kontinuet ud fra en mere helhedsorienteret tilgang, hvor det snarere er strukturer og relationer, som betragtes som de fundationale objekter i analysen, og ikke uendelige mængder af punkter.

En anden væsentlig pointe i Turings arbejde var, at hans matematiske

argument afhang af fysikkens natur – i dette tilfælde af beregnelighedens grænser via en effektiv computeralgoritme. Det åbnede op for en meget tættere forbindelse mellem fysik og matematik end tidligere antaget. For hvis de logiske grænser for beregnelighed også gælder for alle regnemaskiner, vil en lang række problemer heller aldrig kunne løses i praksis. Turings stopproblem og bestemte aritmetiske beslutningsproblemer vil aldrig kunne finde en løsning, selv med den størst tænkelige computer. En lang række beregninger, som f.eks. sorteringen af elementer i en liste, vil kun kunne løses inden for et tidsrum, der er afhængig af problemets størrelse. Det vil sige, at hvis problemet er for stort, vil det aldrig kunne løses i endelig tid.

Et tredje aspekt ved Gödels og Turings resultater er, at ikke blot uvidenhed, men også tilfældighed sniger sig ind ad bagdøren på det, man troede var den mest eksakte af alle videnskaber. Den amerikanske matematiker Gregory Chaitin (f. 1947) kunne i sine analyser af Gödels og Turings resultater gå så vidt som til at konstruere et tal, der er absolut umuligt at kende. Tallet, som han kaldte Omega, var pr. definition så tilfældigt, at ingen computer nogensinde ville være i stand til at finde alle dets decimaler, selv hvis den var uendeligt hurtig. Ved hjælp af informationsteoretiske overvejelser om, hvordan tilfældighed og kompleksitet bør defineres matematisk, kunne han vise, at alle reelle tal er tilfældige tal – samtidig med at han beviste, at det er umuligt at udpege et eneste tilfældigt tal. Kompleksiteten af et tal kunne Chaitin definere som længden af det korteste computerprogram, der kan beregne tallet, mens et tilfældigt tal er et tal, hvis kompleksitet svarer til dets bitlængde, dvs. et tal, som ikke kan komprimeres.

Tallet Omega er bemærkelsesværdigt. Det kan definieres, men er ikke beregnetligt. Det er tilfældigt, men tælleligt. Det indeholder den mest komprimerede information om Turings stop-problem

Omega er et ikke-beregneligt tal, dvs. et tal, hvor man ikke kan lave noget program, der kan beregne sig til alle dets bits. Trods disse vanskeligheder lykkedes det i 2002 at beregne de første 64 bits af Chaitins originale Omega. Resultatet er her skrevet ind i Omega-tegnet i binær form og viser, at tallet er ca. 0,78 procent. Med andre ord er sandsynligheden for – ved gentagne forlængelser af en bit-streg med tilfældige bits – at lave et program, som på et eller andet tidspunkt stopper, lig med ca. 0,78 procent.

for alle programmer med maksimalt n bit. Og derfor indeholder Omegas første n decimaler informationen om bevisbarheden for alle matematiske sætninger i et formelt system, som er n-bit stort.

## Informationsbegrebet

Resultatet af overvejelserne om ufuldstændighed, tilfældighed, uvidenhed, sandsynlighed osv. førte til, at der i løbet af midten af 1900-tallet udvikledes et helt nyt koncept, hvormed man kunne begynde at forstå fysiske og matematiske strukturer. Dette koncept var *information*. I daglig tale defineres information som noget, der har med overførsel af viden at gøre. Dette er en forståelse af ordet, hvor enhver information kun kan forstås, hvis modtageren har en baggrundsviden om det pågældende sprog, om konteksten, de implikitive antagelser osv. Hvis man derimod forestiller sig, at der er kommet et brev fra stjernesystemet Alfa Centauri, kan man næppe gøre sig forhåbninger om at få en forståelse af indholdet, alle populære myter til trods – man kan måske ikke engang være sikker på, at der er tale om et brev.

I semantisk informationsteori taler man her om et referenceproblem: et objekts potentielle vidensindhold vil udefra kun kunne beskrives som en sandsynlighedsfordeling over alle mulige fortolkninger med én og samme sandsynlighed. Uden anden information vil brevet principielt kunne betyde alt mellem himmel og jord. Først når der opstår referentielle begrænsninger for realiseringen af de enkelte alternativer, vil der kunne opstå betydningsbærende elementer, som så igen kan virke tilbage og favorisere bestemte muligheder, og først da bliver brevet forståeligt. Meningsfyldt information (i f.eks. en binær sekvens) er altså ensbetydende med en ændring i sandsynlighedsfordelingen af mulighederne på grundlag af en yderligere indsævring, som kun kan opstå ved en berøring med en omverden, følelsesreferencer, symboldannelse osv. Det betyder, at uden referencer kan et virkelig fremmed signal, hvor man intet kender til afsenderen, ikke være andet end et spejl. Et spejl af vores egne tanker. Man bliver offer for en projektion og begynder at lægge sine egne bekymringer og håb i signalets tydninger. Militærer vil sikkert forvente nye våben, videnskabsmanden ny erkendelse, og skønånden vil håbe på forløsning. Men når alt kommer til alt, vil vi mennesker ikke være i stand til at erkende eller forstå signaler fra sådanne verdener, selv hvis de stod med lysende flammer på firmamentet.

## *Information 1: At tælle bits og bytes*

Inden for naturvidenskaberne har man netop udviklet en sådan referenceløs definition af ordet information. Den har derfor heller intet med forståelse at gøre. Den er en ren matematisk øvelse i at tælle bits og i at måle kompleksiteten af en binær sekvens, forstået som længden af det korteste program, der kan frembringe sekvensen. Denne fortolkning af information er rent kvantitativ og har vist sig at have enorm betydning for komprimering af data, krypteringsalgoritmer og for vores erkendelse af, hvordan uvidenhed kan defineres og måles.

Man kan sammenligne denne kvantitative definition af information med opfindelsen af termometret. I slutningen af 1500-tallet begyndte en gruppe af lærde i Venedig, der bl.a. talte Galilei (1564-1642), at definere temperatur som et tal, der kunne aflæses på en skala, uden ellers at beskæftige sig med hvad varme og kulde egentlig var for størrelser. Termometret (eller termoskopet, s. 100) var en pragmatisk løsning på et praktisk problem, og der skulle gå mere end 300 år, før man lærte, at temperaturmåling har at gøre med måling af molekylers hastighed. Det samme gør sig gældende ved måling af information i midten af 1900-tallet.

I løbet af Anden Verdenskrig arbejdede Alan Turing med at bryde tyskernes Enigmakode, hvilket lykkedes for ham og hans hold i den engelske kodeafdeling Bletchley Park i 1943. I løbet af denne tid udviklede Turing også en teoretisk ramme for ”graden af tydelighed”, hvormed en given mængde information kan transmitteres via et radiosignal. Det førte i 1948 den amerikanske ingeniør og matematiker Claude Elwood Shannon (1916-2001), der også havde arbejdet i Bletchley Park, til at definere information som det, der for modtageren af et signal opfattes som kompleks og dermed tilfældig støj. Et signal bestående af kun et enkelt symbol vil opfattes som meget lidt komplekst, fordi man jo ved, hvad man kan forvente. Men et meget komplekst signal uden synlige mønstre vil opfattes som meget tilfældigt.

Man må huske, at afsenderens intentioner, sproget og budskabets indhold er ting, der er fuldstændig irrelevante i denne her sammenhæng. Det eneste, der tæller, er den mængde af kompleksitet, eller usikkerhed (eller uvidenhed), der transmitteres, set fra en forudsætningsløs modtagers synspunkt. Shannon definerede mængden af output fra en informationskilde som et mål for informationens ”entropi”. Det er med andre ord et mål for den usikkerhed, der er knyttet til modtagerens tolkning af output. Shannon-



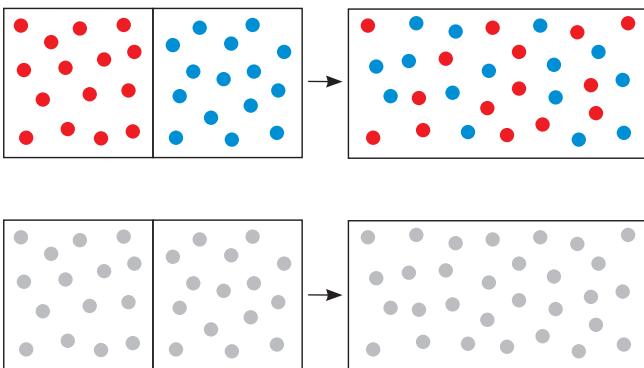
Denne originale Enigma-maskine er udstillet i Bletchley Park. Foto: Oliver Robinson.

entropien fungerer derfor som en tilnærmelse til, hvor stor informationsmængden i et givent budskab er – i modsætning til den forudsigelige del af budskabet. F.eks. bidrager gentagelser og let genkendelige mønstre i daglig talesprog ikke til informationsmængden og dermed ikke til entropien. Det ved enhver, som dagligt sender SMS'er. Det er ikke nødvendigt at skrive besværlige fyldord og selvforklarende bogstaver. Man kan nøjs om at skriv så d forstås.

### *Information 2: Entropi er manglende viden*

Shannons og Turings ideer fra 1940'erne og 50'erne indvarslede en ny tid: det var begyndelsen på informationsalderen. På samme måde som den industrielle revolution startede med vores evne til at manipulere og holde regnskab med energi i 1800-tallet, begyndte informationsalderen, da vi lærte, hvordan man manipulerer og holder regnskab med information. Shannons bidrag var bl.a. hans erkendelse af, at det binære talsystem, som kun består af nuller og ettaller, er den mest effektive måde at kommunikere data på. Og Shannon visste, at elektriskeafbrydere, som kan skifte mellem strøm/ikke-strøm, var en pålidelig måde at generere disse "bits" på. Og idet bits og bytes kan repræsentere alt, hvad man kan sige med matematik, kan de også repræsentere lyde, billeder og alle mulige andre former for signaler, som kan kodes og afkodes matematisk. Shannon gjorde sig desuden overvejelser om, hvor stor en kapacitet et kommunikationsmedium som f.eks. en telefonlinje skal have for at transmittere signaler, og hvordan støj påvirker dem. Han kunne således udlede en lang række lovmaessigheder for, hvordan information lagres, transporteres og komprimeres via elektriske ledninger – teknikker som i dag ligger til grund for alle digitale datastrømme.

Shannon-entropien er tæt knyttet til den østrigske fysiker Ludwig Boltzmanns (1844-1906) brug af ordet entropi i termodynamikken. Boltzmann



havde redefineret entropien, og den kunne ikke længere forstås som en absolut egenskab ved en ting, som f.eks. dens vægt, tryk eller volumen. I stedet måtte den tænkes som et mål for antallet af måder, hvorpå komponenterne i systemet kunne arrangementes på – vel at mærke uden at det påvirkede de målelige størrelser.

Et eksempel kunne være et kast med to terninger. Sandsynligheden for at få to seksere er én ud af 36, mens sandsynligheden for at få en syver er seks gange så stor, idet antallet af måder, man kan få syv på, er  $1+6, 2+5, 3+4, 4+3, 5+2$  og  $6+1$ . Entropi er med andre ord et mål for, hvor mange måder en bestemt tilstand kan fremkomme på. Det samme gælder for store mængder af atomer og molekyler: blander man f.eks. to flasker med henholdsvis varme og kolde gasser, vil molekylerne blandes på en sådan måde, at den makroskopiske måling af temperaturen vil være et sted midt imellem de to tidligere målinger, mens entropien vil vokse uanset hvad, nemlig proportionalt med antallet af de nye kombinationsmuligheder, der kan frembringe den nye makroskopiske tilstand (Boltzmann kaldte dem "komplexioner"). En virkelig forbløffende erkendelse opstår i den situation, hvor man har to identiske flasker med identiske gasmolekyler og identisk tryk, temperatur osv. Her ville en sammenblanding af de to systemer faktisk ikke øge entropien. Men molekylerne blandes vel, kan man spørge? Jo, det gør de sikkert, men man kan hverken se eller måle det. Og det er det, der gør forskellen. Det er som at kaste med en ensidet terning. Du ved, hvad du får.

Denne observation gav Boltzmann et praj om, at den subjektive viden om et systems tilstand på en eller anden måde måtte have en betydning for måleresultatet. Filosoffer ville sige, at termodynamikkens anden hovedsæt-

Når man blander to forskellige gasser, vil entropien vokse (øverst). Men "blander" man to identiske gasser, vil entropien forblive den samme (nederst). Det viser, at entropibegrebet indeholder et element af subjektivitet, da der er forskel på, i hvor høj grad man kan skelne mellem ens og ikke-ens gasser. Den statistiske fortolkning af entropi er derfor et mål for storrelsen af bestemte klasser af mikrotilstande, og ikke for egenskaberne ved disse mikrotilstande.

ning beskriver verden ud fra et epistemologisk niveau og ikke ud fra et ontologisk niveau. Med andre ord er den anden hovedsætning en beskrivelse af *vores viden* om virkeligheden, ikke af virkeligheden selv. Havde der f.eks. – som foreslået af James Clerk Maxwell (1831-79) – været en dæmon i laboratoriet, som kunne se og følge hvert enkelt gasmolekyle, ville dæmonen erklære entropien for at være nul i alle tilfælde. Entropi, defineret af mennesker, er derfor et mål for vores manglende viden om systemet. Og det er i den forstand, at Boltzmanns entropi er tæt forbundet med Shannons information: de er begge et udtryk for den viden, som man *kunne* have om systemet, men ikke har. Shannons information og Boltzmanns entropi er ikke identiske, men de er to forskellige måder at udtrykke den samme ide på.

Information er ifølge Shannon et mål for mængden af viden. Det er ikke denne viden i sig selv. Derfor er informationsbegrebet ligesom energibegrebet – at kende mængden af energi fortæller ikke noget om dens tilstand, dens udbredelse eller dens form. Som en understregning af denne pointe kan man nævne, at Boltzmanns arbejde på mange måder foregreb kvantemekanikkens problemstillinger 50 år senere, idet også Niels Bohrs (1885-1962) fortolkning af kvantemekaniske eksperimenter var strengt epistemologisk. Det vil sige, at de kvantemekaniske ligninger ifølge Bohr fortæller om vores muligheder for at kunne vide noget om virkeligheden, og ikke noget om virkeligheden selv. (Hvilket Einstein som bekendt var stærkt utilfreds med, fordi han mente, at en fysisk teori burde kunne sige noget om virkeligheden og ikke kun noget om, hvad vi ved om virkeligheden; se også s. 294).

Men selvom information er et abstrakt, epistemologisk begreb, har realiseringen af information i form af budskaber naturligvis en fysisk basis. Tænk blot på bøger, aviser og håndskrevne breve. Forsendelsen af information har altid brug for et materIELT medium. Kun med opfindelsen af computeren blev omkostningerne ved informationsoverførsel og -lagring så små, at man har tendens til at se bort fra dem. Men omkostningerne er der alligevel, og i 1960 proklamerede fysikeren Rolf Landauer (1927-99), som ligesom Shannon havde arbejdet hos IBM, derfor, at “information er fysisk”. Selvom man måske kunne opfinde en kvantecomputer med et uendeligt lille energitab ved hver enkelt beregning, ville det koste en vis mængde entropi, når informationen skulle slettes igen. Derfor er selv kvantemekaniske computere, som man håber en dag vil kunne regne med såkaldte qubits i stedet for bits, underlagt fysikkens love.

### *Information 3: kvanter og qubits*

Siden kvantemekanikkens fødsel har vores viden om atomer været en smule skizofren. Eller sådan opfattes det i hvert fald. Nogle gange opfører atomer sig som partikler, og andre gange som bølger. Desuden viste det sig, at elementarpartiklerne kunne reagere med hinanden på en sådan måde, at de ”blandede deres tilstande”. Erwin Schrödinger (1887-1961) kaldte dette fænomen for ”Verschränkung”, dvs. ”entanglement” eller ”sammenfiltret-hed”, og uddybede det ved at forklare, at ”den maksimale viden om et totalt system ikke nødvendigvis behøver at indbefatte den totale viden om alle systemets dele, selv hvis delene er separerede og langt væk fra hinanden.” Denne spøgelsesagtige kvantekorrelation på lange afstande har voldt store kvaler for fysikere og filosoffer.

I 1935 formulerede Albert Einstein og hans kolleger Boris Podolsky (1896-1966) og Nathan Rosen (1909-95) et tankeeksperiment, som skulle modbevise kvantemekanikkens besynderlige vekselvirkninger. At en elektron både kan beskrives som en bølge og som en partikel, var for Einstein ikke det værste problem. Værre var det, at et samtidigt kendskab til forskellige egenskaber ved denne elektron forbød sig på grund af Werner Heisenbergs (1901-76) usikkerhedsrelation. ”Gud spiller ikke med terninger”, var Einsteins reaktion.

Det såkaldte EPR-tankeeksperiment var designet til det formål. To kvante-korrelerede partikler fra samme kilde bliver skudt af sted i hver sin retning. Venter man længe nok, er de lysår fra hinanden, hvorefter man kan måle forskellige egenskaber hos dem. Hvis man f.eks. mäter hastigheden af den første partikel (eller egentlig dens ”moment”, der er et produkt af dens hastighed og masse), og positionen af den anden, så er ræsonnementet, at fordi dens moment bevares, kan man bestemme både moment og position af den anden partikel, hvilket forbydes af Heisenbergs usikkerhedsrelation. Et problem, der egentlig kun kan forklares i dagligdags forstand, hvis man antager, at partikler kan kommunikere hurtigere end lysets hastighed, hvilket jo er i modstrid med relativitetsteorien.

I mange år var sagen henlagt, indtil den franske fysiker Alain Aspect (f. 1947) udførte et rigtigt EPR-eksperiment i 1982. Hans resultat var, at selv hvis information, der bevæger sig hurtigere end lyset, er nødvendigt, er det ikke muligt på samme tid at bestemme både position og moment af en partikel. De kvantemekaniske ligninger holdt altså vand – men det betød ikke, at



Alain Aspects udstyr fra hans  
EPR-eksperiment i 1982.

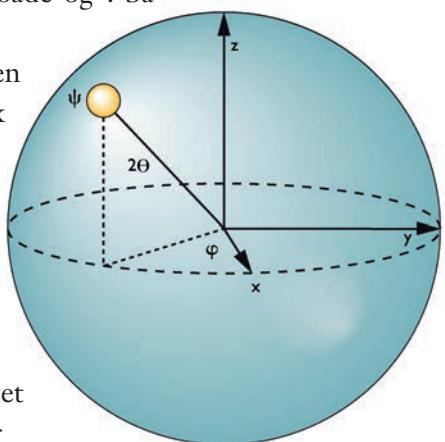
relativitetsteorien var modbevist. Det betød kun, at der ikke blev udvekslet information, samt at de to partikler er i en tilstand af overlejring, eller "entanglement", hvor de så at sige ved, hvad hinanden gør. Eller formuleret på en lidt mere akademisk, men ikke mindre mystisk måde: hvor deres tilstand er kvantekorreleret i form af en informationsoverlejring, således at deres information er indskrevet i deres fælles egenskaber. To partikler, som er i sådan en sammenfiltret tilstand, opfører sig ligesom tvillinger, hvor den ene kun kender sig selv i den andens billede: hvis den ene bliver kildet, griner den anden.

I dag mener mange, at nogle af kvantemekanikkens paradokser skyldes en blanding af to beskrivelsesniveauer – nemlig det epistemologiske niveau, hvor man beskriver, hvad man ved og kan vide, og det ontologiske niveau, hvor man påstår, at sige noget om de faktiske fysiske objekter og deres aktiviteter i verden. Ifølge Bohr forbliver kvantemekanikken på et rent epistemologisk niveau, hvorfor det er utiladeligt at tale om, hvorvidt der faktisk foregår en vekselvirkning på lange afstande eller ej. I moderne kvantemekanik er man således ved at forstå, at alle de spøgelsesagtige fænomener, som man kender fra eksperimenter med entanglement, teleportation og kvantecomputere, skal tolkes epistemologisk – og derfor informationsteoretisk. Det, der

bevæger sig hurtigere end lyset, er vores fantasi, dvs. *ideen* om at vi med et snuptag kan være på Alfa Centauri. Og selv dette er ikke helt korrekt, for selv vores fantasi er determineret af en fysisk hjerne, der også er underlagt lyshastighedens begrænsning. Det, der teleporteres, er en repræsentation af viden og ikke materie. Men det betyder ikke nødvendigvis, at man ikke kan bygge computere, som udnytter denne repræsentation til at lave komplikerede beregninger.

I normale computere bliver bits repræsenteret af mange milliarder elektroner, som er samlede i siliciumtransistorer, der ligger side om side på små computerchips. Om de repræsenterer et 1 eller et 0 i den binære kode afhænger af, om de er til stede eller ej. Men når man først kommer ned til de enkelte elektroner, er det ikke længere muligt at tolke tilstandene entydigt. Elektronerne kan være ”enten eller” eller ”både og”. Så kaldes de qubits.

Oprindelig startede det med fysikeren Richard Feynman (1918-88), der i 1981 fik ideen om kvantecomputere som en teoretisk abstraktion til at diskutere, hvad information er, set fra kvantemekaniske principper. Siden har mange forskere forsøgt at føre de teoretiske diskussioner over i laboratorierne. Men lige meget hvad de prøvede, så ville kvantecomputerne ikke lege med, når det kom til den faktiske implementering i chips og ledninger. Ubestemmeligheden – dvs. deres evne til at indtage en ”superposition” – af de enkelte partikler kan ikke bibeholdes, så snart man vil sætte dem i position, hvor man kan begynde at regne med dem. Så selvom man har kunnet melde om fremskridt inden for kvantekryptering, er computere baseret på kvantemekaniske effekter stadig kun en teoretisk ide.



En qubit – i praksis én enkelt elektron – er den basale enhed for en kvantecomputer. Den ligner en almindelig bit i at kunne indtage tilstandene 0 og 1, men den kan også være i en tilstand af superposition (overlejring) af både 0 og 1. En qubit kan tegnes som en ”Bloch-sfære”, hvor informationen om den kodes via vinkelafstande fra de tre akser X, Y og Z. Når man mäter på denne qubit, vil udfaldet enten være 0 eller 1, selvom qubitten er i en tilstand af superposition, dvs. af både-og. Man ville kunne udnytte dette i en hypotetisk kvantecomputer, fordi x-antallet qubits ville kunne udføre ikke kun x, men  $2^x$  beregninger samtidigt. En kvantecomputers regnekraft stiger altså eksponentielt med antallet af qubits i modsætning til konventionelle computere, hvor regnekraften stiger lineært med antallet af bits.

## Beregningens grænser

Hvad der til gengæld ikke blot er en teoretisk ide, men har stor konkret betydning for en masse ting i hverdagen, er de fysiske grænser for beregning. Gödel og Turing viste, at der findes formelle grænser for sikker viden. Men der ser ud til at være meget mere håndfaste grænser for, hvor svære opgaver man kan løse af den simple årsag, at de er for komplicerede, at verden er endelig og tiden knap.

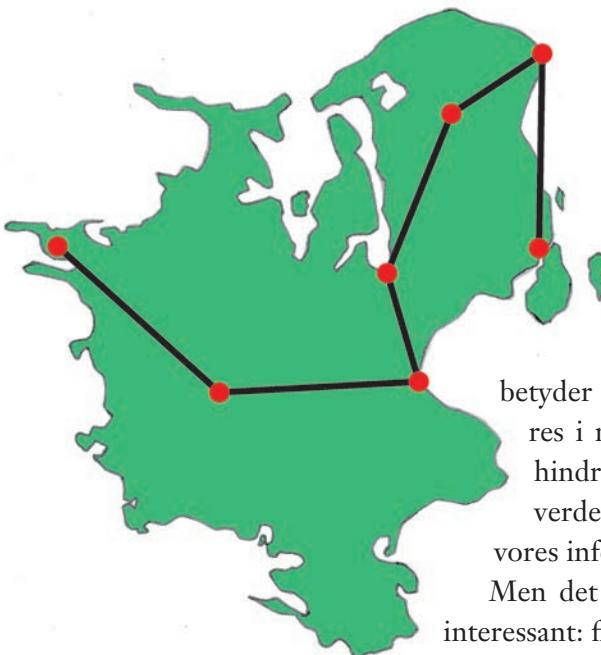
Denne del af historien startede i 1960'erne, hvor matematikere begyndte at spekulere over måder, hvorpå man kan ordne matematiske opgaver i forhold til deres sværhedsgrad. Men hvordan definere sværhedsgrad? Forskerne enedes om at lade sværhedsgraden angive antallet af operationer eller regnetrin, man skal bruge for at komme frem til en løsning af et givent matematisk spørgsmål. Man kunne for eksempel spørge, om tallet  $12 \cdot 2$  er nemmere at beregne end tallet  $12^2$ , dvs. om disse regnestykker har forskellige sværhedsgrader. I dag ved man, at det at kvadrere er sværere end at fordoble. En fordobling af et vilkårligt tal med  $k$  antal cifre kræver, at man ganger hvert enkelt af de  $k$  cifre med to, dvs. antallet af regneskridt er ligefrem proportional med  $k$ . En kvadrering derimod kræver normalt, at man ganger hvert ciffer med hvert ciffer, og dermed kommer op på  $k^2$  operationer (for slet ikke at nævne summationen bagefter). Men der findes også endnu sværere regnestykker, som kræver  $k^3$  eller  $k^4$  operationer, og jo sværere de bliver, jo længere tid vil de tage at beregne på en computer. De fleste problemer, man kender fra skolen, er af præcis den beskaffenhed: man kan beregne dem ved hjælp af  $k^r$  trin, hvor eksponenten  $r$  er et naturligt tal og  $k$  antallet af cifre på det tal, man begyndte med. Lægge sammen, gange, dividere, finde de rødder, løse ligninger osv. – alle kan de løses med maksimalt  $k^r$  operationer (for forskellige værdier af  $r$ , vel at mærke). Og i de tilfælde siger man, at de er af polynomiel art eller "af typen P".

Faktisk findes der matematiske problemer af typen P, som stadig tiltrækker forskernes interesse. Blandt andet sorteringsalgoritmer. Alle kender det møjsommelige arbejde med at sortere adresselister, spillekort eller lignende efter en bestemt rangorden. Normalt ville man starte med f.eks. at lede efter den adresse i listen (med  $k$  adresser), som starter højest oppe i alfabetet. Til det kræves maksimalt  $k$  operationer, idet det jo ikke er sikkert, at man kan finde den rette adresse med det samme. Med den næste adresse kræves der maksimalt  $k-1$  operationer, den næste igen  $k-2$  osv. Det vil sige, at man kan

komme op på  $1+2+3+\dots+k = \frac{k(k+1)}{2}$  operationer, og da det tal kan sammenlignes med  $k^2$  for store  $k$ , er sorteringsalgoritmen af typen  $k^2$ . Men sjovt nok kan man gøre det meget hurtigere og få eksponenten helt ned i nærheden af  $r = 1$  takket være kloge hoveder og fiffige programmører.

Men der findes også problemer, som er meget mere krævende end dem af typen P. For eksempel opgaven: find et tal, som går op i 1.050.504.368.559.379, og det må ikke være tallet 1 eller tallet selv. Hvis man vil prøve lykken, må man regne med oddset én ud af 30 millioner, hvilket er en del sværere end at vinde i lotto. Det skyldes, at 1.050.504.368.559.379 kun er et produkt af to tal, nemlig primtallene 18.712.789 og 56.138.311, altså tal, som kun kan deles med sig selv og 1. Der findes ingen metoder, hvormed man konsistent kan løse den slags opgaver hurtigt, end ikke på computere, og gudskelov for det, da krypteringsteknikkernes sikkerhed på bl.a. internettet afhænger af det. Man kalder denne form for matematiske problemer for NP-problemer, hvilket står for “nondeterministic polynomial”. Det skyldes, at man endnu ikke har fundet nogen effektiv deterministisk metode, hvormed man kunne løse dem på samme måde, som man kan løse problemer af typen P. Man kan kun gætte og være heldig eller også få et rigtigt surt arbejde. Men ikke desto mindre er de meget vigtige for en række praktiske problemer: hvordan finder man den optimale måde, hvormed industrimaskiner kan operere på et givent område? Hvordan koordineres hjemmeservice bedst? Eller den klassiske: hvordan bruger en handelsrejsende mindst mulig benzin, hvis han pendler mellem  $x$  antal forskellige byer? Alle disse problemer er NP-problemer, men måske er de i virkeligheden blot problemer af typen P, hvor man bare endnu ikke kender beregningsmetoden. Ingen kender svaret.

Ikke så få forskere ville give deres højre arm for at kunne svare på spørgsmålet om  $P = NP$ , det vil sige, om der findes NP-problemer, som kan reduceres til P, og som derfor kan løses uden brug af held. Afgørende i denne sammenhæng er, at mange NP-problemer er såkaldt “NP-komplette”, hvilket betyder, at hvis man først har vist, at ét NP-komplet problem (som f.eks. den handelsrejsende) er af typen P, så er alle andre NP-problemer det også. Hvis ét problem er løst, så er alle de andre det også! Det skyldes, at alle den slags matematiske problemer af klassen NP kan omskrives til en kombination af logiske operatorer (som AND, OR, NOT osv.), og på den måde generaliseres til de såkaldte cookske problemer, der er opkaldt efter den amerikanske matematiker Stephen Cook (f. 1939), som fandt på metoden i 1971.



Det er ikke nemt at finde ud af hvilken rejsebane, der er kortest, hvis man skal igennem en række byer. For bare syv byer er antallet af ruter lig  $7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 5040$ . For 67 byer ville hele universets regnekraft ikke række til at tjekke dem alle sammen.

Hvis et NP-komplet problem kan vises at være af typen P, så betyder det, at held alligevel kan undværes i matematikken, og at den eneste hindring for, at vi mennesker kan løse verdens værste matematiske gåder, er vores inferiore intellekt.

Men det omvendte spørgsmål er lige så interessant: findes der NP-komplette problemer, som garanteret ikke er af typen P? I så

tilfælde ville de filosofiske implikationer være mindst lige så betydningsfulde. Så ville vi endelig vide, at selvom der findes simple løsninger til svære gåder, kan de end ikke principielt findes ad rationel vej. Vi kan kun håbe på heldet. Fremtidens matematiske vil ikke længere være nødvendighed, men kompleksitet og tilfældighed, og troen på den grænseløse erkendelse vil gå tabt endnu engang. Men foreløbig er der ingen, som har bevist hverken det ene eller det andet, for selvom der findes et utal af NP-komplette problemer, har man ikke fundet nogen effektiv løsningsformel for et eneste af dem.

## Universet som laptop

Man kan forsøge at komme med et estimat af, hvad man i det hele taget kan regne på, hvis hele universets masse og energi blev brugt til kun det formål. Vi kan med andre ord forestille os, at vi prøver at finde den optimale processorhastighed af hele universet. Til at starte med må vi kende massen af universet. Ifølge Big Bang-teoriens beregninger, som også medregner den del af universet, som ikke kan ses, er den totale masse af universet  $6 \cdot 10^{52}$  kg. Massen kan så omregnes til universets totale energi via Einsteins formel  $E = mc^2$ . Men da vi er interesseret i antallet af bits, som universet kan be-

regne pr. sekund, må vi tage højde for kvanteffekter, som kan ødelægge informationen. Derfor må man bruge Heisenbergs usikkerhedsrelation, der angiver en nedre grænse for produktion af en stabil bit pr. energi- og tidsenhed (hvilket er Plancks konstant  $\hbar$ ). Hokuspokus bliver det maksimale antal bits pr. sekund for universet til ca.  $10^{100}$ . Et ettal med hundrede nuller, præcis dér, hvor moderne lommeregnere holder op med at fungere (tallet kaldes også en gogol, hvorfra navnet Google er taget).

Det var oprindeligt den tyske matematiker Hans-Joachim Bremermann (1926-96), som lavede den slags ad hoc beregninger i 1965. Hvis man forestillede sig, at hele jordklodens masse siden dens dannelse for 3,8 milliarder år siden var blevet brugt til at regne med, ville den ikke have nået mere end  $10^{93}$  operationer, hvilket kaldes for Bremermanns grænse. Alle problemer, som kræver mere end  $10^{93}$  regnetrin, er derfor "transberegnelige". De er hinsides klodens formåen. Det morsomme er, at der findes masser af praktiske problemer i dagligdagen, som kræver flere regnetrin end dette. For eksempel er testning af alle kombinationer på en integreret strømkreds med 308 input og et output langt mere omfattende, ligesom det er tilfældet med beregning af den optimale rute for ovennævnte handelsrejsende, når han skal igennem blot 67 byer.

Eksisterende computere er selvfølgelig langt under Bremermanns grænse, fordi de endnu ikke er designet til at udnytte atomare kvantetilstande for informationslagring og informationsoverførsel. Desuden er de begrænset af termodynamiske varmeprocesser. Men overslagsberegningen af universets regnekapacitet kan alligevel bruges til en række interessante konceptuelle og filosofiske overvejelser. F.eks. fortæller den, at universet ikke kan prædetermineres af nogen instans i universet selv, fordi der ikke kan være noget i *universet*, som kan beregne universet. Universet er måske deterministisk i den forstand, at fysikkens love sætter grænser for, hvordan materien udfolder sig i rum og tid, men der er ikke nogen mulighed for at opnå et forhåndskendskab til konsekvenserne af udfoldningen. Med andre ord: determinisme er ikke ensbetydende med forudsigelighed – en pointe, der vil blive behandlet yderligere om lidt, i forbindelse med selvorganiserende systemer, kaos og den ikke-lineære dynamik.

Nyere tids erfaringer med problemløsning, bevisførelse af teoremer, mønstergenkendelse, proteinfoldning, neurale netværk osv. peger alle i den samme retning: det er svære problemer. Der findes ikke nogen nem



I science fiction-filmen *The Matrix – Reloaded* taler helten Neo med "Arkitekten"; den mand, som har bygget hele denne verdensomspændende simulation, der bliver kaldt The Matrix. Arkitektenes eneste irritation er, at han ikke kan forudse konsekvenserne af menneskers frie viljer og valg. Og det er derfor, at der altid er nogle få mennesker, der vælger at bo i den underjordiske by Zion, der repræsenterer virkeligheden, som den i virkeligheden er. Men som vi har set, kan Arkitekten faktisk ikke engang forudse resultatet af en trafikprop, endslige en organismes udvikling og vej. Det er emergente egenskaber, komplekse strukturer, der opstår irreducibelt og derfor i detaljen uforudsigeligt. Det eneste, Arkitekten ville kunne gøre, er at manipulere med blandværk og udøve magt. Den perfekte Matrix er kun verden selv.

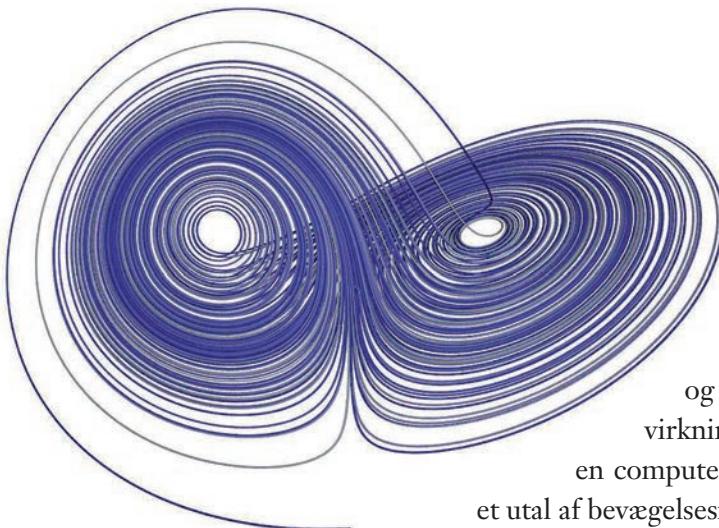
© WV Films III LLC. All Rights Reserved.

løsning, når naturvidenskaben bevæger sig uden for de snævert definerede opgaver og ind i komplekse sammenhænge, hvor mange elementer påvirker udfaldet. Frygten fra begyndelsen af 1900-tallet, hvor man troede, at den kolde, rationelle naturvidenskab ville blotlægge alle rester af naturens og menneskets adfærd, har derfor vist sig at være ubegrundet. Det ubeskriveligt enorme antal af muligheder i udfaldsrummet for atomare og molekulære tilstande kan nemlig ikke løses ved ren regnekraft. Det samme gælder for genetiske, emotionelle, psykologiske, sociale, organisatoriske, politiske og historiske tilstande. Hvis vi vil øge vores erkendelse om verden og om os selv, må vi derfor fortsat gribe til kvalitative smutveje, til sindrige ideer og fornuftens brogede effektivitet, sådan som man ikke kun kender dem fra de store naturvidenskabelige forskere, der får geniale ideer, men også fra humanvidenskaberne. Computeren vil være til stor hjælp, ingen tvivl om det, men når det kommer til de principielle spørgsmål, vil computeren blive ved med at være lige så langsom, som den er nu.

## Kaos og ikke-lineære erkendelser

Sideløbende med disse erfaringer inden for matematik, fysik og datalogi opdagede en række kemikere, meteorologer og biologer lignende forhindringer i deres arbejde. Deres modeller opførte sig ikke på et og deterministisk, som det sig hør og bør ifølge den klassiske mekanik, men var derimod knudrede, kaotiske og udviste en særdeles kompliceret dynamik. Fællesbetegnelsen for disse modeller er ”*ikke-lineære dynamiske systemer*”, og de blev først rigtig forstået og kortlagt med udviklingen af computeren, der med sin stadig voksede regnekraft kunne køre de koblede differentialligninger i modellerne ved gentagelse og simulation. Store makroskopiske naturfænomener langt fra ligevægt – såsom vejret, havstrømme, bjergformationer, galaksestrukturer, mørksterdannelse, populationsdynamik m.v. – lader sig ikke reducere til simple kausale sammenhænge, som man f.eks. kender det fra den klassiske naturvidenskabs bevægelsesmekanik. Der findes ikke nogen ”*løsning*” som sådan. Her, i landet hvor kaos, fraktaler og turbulens regerer, er der tale om et helt netværk af kausalkæder, som binder alt til alt; det er et nærmest uigenremtrængeligt garnnøgle af årsagssammenhænge, hvor ethvert forsøg på at trække trådene ud med håndkraft på forhånd er dømt til at mislykkes. Man kan faktisk stadig skrive en slags formel ned for disse fænomener, men man er ikke særlig meget hjulpet ved det. Først udviklingen af formlen i tid og rum tillader en klassifikation af resultatet. Derved bliver de resulterende fænomener irreduktible i deres væsen. Det er måske derfor, de er så tiltalende og bredt anvendte som metaforer for liv og kunst.

Kun de mest simple mekaniske systemer kan beskrives på en sådan måde, at man kan forudsige deres fremtidige opførelse. Johannes Kepler (1571-1630) havde i 1609 beskrevet bevægelsesligningerne for et mekanisk system med to legemer. Senere havde Newton løst dem. For tre legemer viste det sig at være umuligt at løse. Den norske-svenske konge Oscar II (1829-1907) udskrev derfor i 1887 en konkurrence om, hvorvidt man kunne afgøre, om solsystemet er stabilt eller ej – et vigtigt spørgsmål i betragtning af, at Månen ifølge Newton er i ustændeligt fald mod Jorden, mens Jorden er i ustændeligt fald mod Solen. I 1890 besvarede Henri Poincaré opgaven med en afhandling om trelegemeproblemet, hvori han kunne vise, at der i visse tilfælde findes stabile periodiske løsninger, hvilket fik ham til at konkludere, at solsystemet nok var stabilt alligevel. Årsagen til, at ikke-lineære mekaniske systemer med flere end to legemer er så uforudsigelige, er, at de er meget følsomme over



En kaotisk attraktor betyder, at to punkter i et dynamisk system forbliver nogenlunde tætte på hinanden, selvom de udfører kaotiske bevægelser. Her ses meteorologen Edward Lorenz' attraktor.

for startbetingelserne og over for tilfældige påvirkninger. Uden hjælp fra en computer regnede Poincaré på et uts af bevægelsesmønstre, nogle stabile, andre ustabile og på kollisionskurs og stadig andre øjensynligt stabile, men følgende ikke-periodiske baner. Over 70 år før deterministisk kaos blev kendt, havde Poincaré set konturerne af det.

Den første, som for alvor beskrev en såkaldt kaotisk attraktor, var den amerikanske meteorolog Edward Lorenz (f. 1947). En kaotisk attraktor betyder her, at to punkter, eller to elementer i systemet, forbliver nogenlunde tætte på hinanden, selvom de udfører kaotiske bevægelser. 1961 lavede Lorenz en meget simpel matematisk model til at simulere konvektionsstrømme i atmosfæren. Da han ville undersøge modellens opførsel over en længere tidsperiode, fandt han ud af, at små afvigelser i begyndelsesbettingelserne resulterede i store forskelle efter blot få gennemløb. "Sommerfugleeffekten" var blevet opdaget. Kendetegnende for Lorenz' attraktor er, at dens bevægelsesbaner holder sig i et begrænset udfaldsrum på trods af, at to tæt liggende punkter i faserummet fjerner sig fra hinanden, for hver gang simulationen køres. Tilfældige påvirkninger forstærkes eksponentielt, og resultatet er derfor uforudsigeligt, netop fordi man ikke kan kende begyndelsestilstanden helt nøjagtigt. Det er ligesom æltning af en kagedej: kommer man to vaniljekorn i dejnen, f.eks. lige ved siden af hinanden i ydre højre hjørne, vil en fortsat systematisk æltning resultere i, at de to korn fjerner sig fra hinanden i uforudsigelige bevægelsesbaner, først langsomt, men senere i voldsomme spring.

På grund af kompleksiteten er kaotiske systemer uforudsigelige i det lange løb, selvom hvert enkelt trin i deres udvikling utvetydigt er determineret ud fra den tidligere situation. Det er derfor, man ikke bare taler om kaos, men om deterministisk kaos, idet determinisme og (u)forudsigelighed er

to vidt forskellige ting. Ganske små forskelle kan være ansvarlige for udvælgelsen af helt andre udviklingsbaner. Det er derfor ofte kun muligt at belyse de kvalitative aspekter, det vil sige fænomenernes meget generelle karaktertræk, mens det er umuligt at forudsige det helt præcise udfald på et senere tidspunkt. Man kan kun lave forudsigelser for den meget nære fremtid. Det er f.eks. også derfor, at forudsigelser om klodens klima er ekstremt svære at lave. Vil der komme en ny istid? Hvordan vil drivhuseffekten påvirke Europas vejr? Hvornår og hvor kommer det næste jordskælv? Ingen kender svarene med sikkerhed.

Kendetegnende for ikke-lineære systemer er, at deres udfoldelse i tid og rum pludselig kan spaltes op i to eller flere mulige baner. Antallet af disse så kaldte "bifurkationer" kan stige så meget, at man til sidst har det rene kaos – et ragnarok, hvor ingen udviklingsbane er mere sandsynlig end den anden. Den russiske matematiker Andrey Kolmogorov (1903-87) kunne således i 1959 formulere endnu et entropi-begreb, som kvantificerer mængden af den manglende viden, vi har om de kaotiske udviklingsbaner. Igen er der her tale om en slags negativ bevisførelse: vi kan måske ikke vide, hvor systemet befinner sig i en bestemt fremtidig situation, men vi kan måle graden af informationstab for hvert enkelt trin. Og det er på mange måder lige så godt, fordi det kan bruges til at finde ud af, hvor meget information, der som minimum er tilbage, hvilket igen kan bruges til at sætte en øvre grænse for komprimeringen af data og til at finde det kortest mulige program, der kan genskabe disse data.

Modsat Shannons entropibegreb, som kun beskæftiger sig med et signals gennemsnitlige information, er Kolmogorovs entropi et mål for et individuelt objekts absolutte information. Også de amerikanske matematikere Ray Solomonoff (f. 1926) og Gregory Chaitin formulerede lignende "algoritmiske", dvs. mekanisk beregneelige, måleredskaber for kompleksiteten af data, hvorfor hele feltet i dag har flere navne, alt efter skole og behag: algoritmisk informationsteori, algoritmisk sandsynlighed og algoritmisk kompleksitet.

## Naturens fraktale geometri

Kaotiske attraktorer har en fraktal natur. Ordet fraktal kommer af latin, hvor "frangere" og "fractum" betyder henholdsvis "at bryde" og "at være brutt op". Det blev opfundet af matematikeren Benoit Mandelbrot (f. 1924) i 1975, hvor han viste, at utrolig mange naturfænomener og objekter bedst

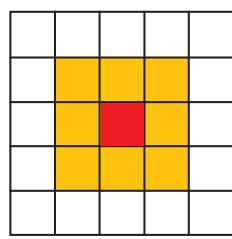
En fractal med form som et bregneblad. Hvis man zoomer ind på et enkelt udsnit, vil man kunne se, at bladets geometriske form med små variationer gentages i det uendelige. Dette kaldes selv-similitet og viser, at en fractal kan generere uendelig komplekse geometriske figurer ud fra blot en enkel algoritme. · Larry Bradley.



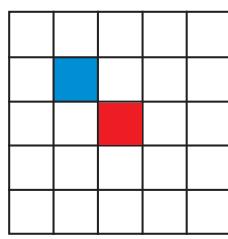
lader sig beskrive ved hjælp af en fractal geometri. Kendetegnende for en fractal er, at dens kant er uendelig ru og derfor uendelig lang, hvis man ville gøre sig det besvær at tage et uendelig fint målebånd og måle omkredsen. Den danske kyststrækning er derfor i principippet også uendelig lang – for hvis man kunne gå ned til det enkelte sandkorn og måle længden, ville der åbenbare sig sprækker og kløfter af alle størrelsesordener. Hvis man forstørerer en fractal, vil man altid genfinde lignende strukturer. Fraktaler er derfor "selv-similære", og man har defineret deres dimension til at kunne være "brudt", dvs. eksempelvis 1,5 eller 0,7 i modsætning til f.eks. et stykke papir, der altid har den heltallige dimension 2.

Der er utrolig mange naturlige former og ikke-lineære systemer, som har en fractal-lignende struktur, f.eks. skyer, bjerge, planter, galakser, vejrs, lunger, blodkredsløbet, hjernen osv. Noget af deres fascinationskraft består formodentlig i, at man kan genfinde et billede af helheden i hver af dens dele.

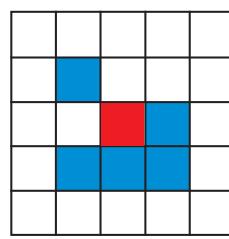
John Horton Conways "Game of Life" giver nogle simple regler for, hvordan de enkelte celler i gitteret skal udvikle sig over tid. Resultatet kan være meget komplekse strukturer, som kan formere sig og bevæge sig hen over gitteret, alt efter hvilken startkonfiguration, man vælger.



Hver celle har 8 naboer (de gule celler), og kan være enten ubeboet eller beboet (den røde celle)



Hvis en beboet celle har 0 eller 1 nabo, dør den pga. ensomhed.

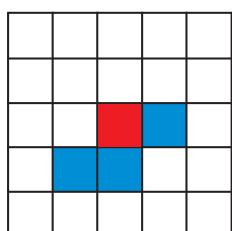


Hvis en beboet celle har 4 til 8 naboer, dør den pga. overbefolkning.

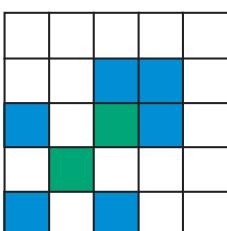
Men hvis naturen er fraktal og ikke-lineær, og hvis fraktaler og ikke-lineære systemer er noget, der har med udfoldelsen af et program i tid og rum at gøre, hvorfor kan man så ikke forestille sig, at hele universet er ét stort program? Og når det er tilfældet: må alle andre processer i universet så også forstås som programmer, der udfoldes i tid og rum? Ja, måske bestemmer programmet ligefrem tidens retning og rummets form? Kan man mon finde universets kildekode?

En lang række videnskabsmænd har spekuleret i den retning. Man har også forsøgt at udvikle nogle computerprogrammer, de såkaldte cellulære automater, der skal kunne simulere kompleksiteten af "universet" ud fra nogle meget simple programmer. Cellulære automater er diskrete dynamiske systemer, hvis opførsel udelukkende er defineret af lokale regler. Deres udfoldelsesrum er repræsenteret ved et skakbrætliggende gitter, hvor hver celle i gitteret indeholder nogle data, der kan skifte tilstand, alt efter hvilken tilstand nabocellerne er i. Reglerne for cellernes opførsel kan slås op i en lille tabel, hvorudfra computeren beregner de nye tilstande for hvert nyt tidstrin. Systemets regler er derfor meget simple, ensartede og lokale. På trods af det kan cellulære automater udvise ekstremt komplicerede mønstre, inklusive katotiske attraktorer, såkaldte grænsecykler og fraktal selv-similitet. Deres opførsel er irreversibel og uforudsigelig og kan i visse tilfælde minde om levende systemers udvikling, som det f.eks. er blevet foreslået i forbindelse med matematikeren John Horton Conways (f. 1937) "Game of Life" fra 1970.

Den første cellulære automat blev udtaenk af den polske matematiker Stanislav Ulam (1909-84) sent i 1940'erne. Men det blev især Ulams kollega, ungareren John von Neumann (1903-57), der arbejdede videre med ideerne. Von Neumann var klar over, at der findes en tæt forbindelse mel-

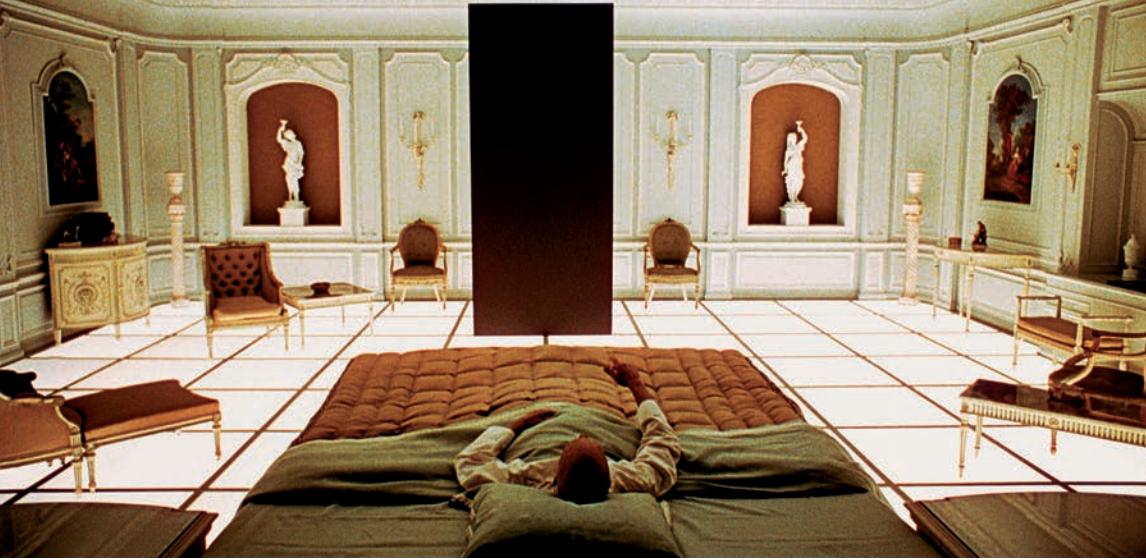


Hvis en beboet celle har 2 eller 3 naboer, overlever den til den næste generation.



Hvis en ubeboet celle har 3 naboer, sker der en "fødsel", og den bliver beboet.

lem cellulære automater og Gödels og Turings arbejder, fordi de havde vist, at den formelle logik kan repræsenteres som rekursive algoritmer, der kan beregnes af en Turingmaskine. Og når det er tilfældet, kan den matematiske logik analyseres via cellulære automater.



Baseret på Alan Turings ideer arbejdede John von Neumann også med at bygge en selv-reproducerende maskine, som han kaldte for en "kinematon". Den skulle have den fantastiske egenskab at kunne reproducere en hvilken som helst maskine, der kan beskrives ved et program – således skulle den også kunne bygge en kopi af sig selv. Ideen blev blandt andet brugt af Stanley Kubrick (1928-99) i filmen *2001 – A Space Odyssey*. De sorte monolitter begynder at dukke op flere forskellige steder i løbet af filmen og reproducerer øjensynligt sig selv, indtil det viser sig, at deres eksponentielle vækstrate til sidst tillader dem at transformere Jupiter til en ny stjerne. Scenen, der skulle forklare sammenhængen med von Neumanns kinematon, blev dog klippet ud af den færdige film.

© Turner Entertainment Co. A Warner Bros. Entertainment Company. All Rights Reserved.

Mange mennesker var (og er) skeptiske over for, om man nogensinde vil kunne bygge en maskine, der kan gøre nærmest hvad som helst, inklusive at tænke ligesom mennesket. Von Neumanns svar på denne skepsis var typisk følgende: "Du insisterer på, at der findes noget, som en maskine ikke kan gøre. Hvis du fortæller mig helt præcist, hvad det er, en maskine ikke kan gøre, så vil jeg kunne lave en ma-

skine, som kan netop det!" Pointen er med andre ord, at hovedårsagen til at vores maskiner stadig er så dårlige til at udføre bestemte ting, er at vi stadig ikke forstår disse ting i detaljer. Det kan, som vi har set, også skyldes, at maskinerne ikke kan gennemføre opgaven i et endeligt antal trin. Men at bruge Gödels ufuldstændighedsteorem, ubestemmelighed, Turingmaskiner som aldrig stopper osv. hjælper ikke rigtigt, fordi den menneskelige hjerne eksisterer – og den tænker jo faktisk.

Von Neumann vidste, at den menneskelige hjerne opererer i en situation af manglende viden og fejlfinding. Derfor måtte hans maskiner også operere med ufuldstændig information og fejl. Men da den matematiske logik på daværende tidspunkt hverken accepterede støj eller gråzoner og kun beskæftigede sig med deterministiske operationer i en idealiseret ja/nej verden, var

det svært at inkludere muligheden for fejlfunktioner i komponenterne. Von Neumann arbejdede længe på at udvikle en probabilistisk logik til at understøtte kontinuerte cellulære automater for selv-reproduktion, men nåede aldrig særlig langt. Igennem var det Alan Turing, der var den første, som udviklede en selv-reproducerende model for biologisk mørsterdannelse. Den vil blive beskrevet i kapitel ni.

De cellulære automater har bidraget til at skifte ud i de metaforer, som fysikere typisk bruger til at anskueliggøre universets udvikling med. I dag betragter mange universet som ”en fortsat beregning”, hvilket er noget ganske andet end at betragte universet som noget, der følger en lov på en formel, og som derfor kan beregnes og måske endda forudsiges. Men de cellulære automater viser, at forudsigelser beror på evnen til at finde en smutvej til det beregningsmæssige arbejde, som systemet selv udfører. Det kan lade sig gøre for meget simple mekaniske systemer, men ikke for kompleks sammenhænge – ikke engang for blot tre lige store legemer, der kredser om hinanden i et tyngdefelt.

## Den statistiske vending

Som nævnt i starten af kapitlet, blev troen på et deterministisk verdensbillede i begyndelsen af 1900-tallet ledsaget af mange pessimistiske forudsigelser for menneskeheden. Civilisationens undergang og varmedød var de dystre perspektiver. Men mellem 1920 og 1960, hvor den ene grundantagelse efter den anden opløstes i lyset fra de nye erkendelser, blev den ofte ledsaget af en mere optimistisk begejstring. At man kunne bevise nogle teorier og kende nogle love, var interessant. Men at man kunne bevise, at noget var ubeviseligt, og at man kunne vide, at der var nogle ting, som man ikke kunne vide noget om, det var højst bemærkelsesværdigt.

Således udvikledes et helt nyt koncept for forståelsen af naturen. Dette var det førsttalte koncept om information. En vigtig idehistorisk pointe i udviklingen af informationskonceptet, og alle de dertil hørende teorier i 1900-tallet, lå i, at man umærkeligt havde omdefineret ordet ”tilfældighed” fra at være noget naturgivent, til at betyde ”manglerende viden”. Ordet tilfældighed har med andre ord ikke længere en ontologisk status, hvor ”Gud spiller terninger”, men betegner en begrænsning ved vores viden og vores evne til at forudsige ting.



Dette  
er ikke  
Niels Bohr.

Bohr insisterede på, at ethvert forsøg på at måle naturen involverer en repræsentation og et repræsentations-apparat (forsøgsopstillingen). Begge sætter visse begrænsninger for vores muligheder for at forstå alle virkelighedens niveauer, og de må i hvert fald forsøges medregnet i vores ligninger. Ligesom Magritte fastholdt Bohr altså det epistemologiske problem, der opstår, når man slutter sig fra et billede af en person, af en pibe eller af en elektron, til selve personen, piben og elektronen · Niels Bohr Arkivet, København.

delse i den moderne naturvidenskab. Men et epistemologisk perspektiv bliver nødt til at arbejde med sandsynlighedsbetragtninger, idet manglende viden og ufuldstændighed kun kan kvalificeres og kvantificeres ved hjælp af statistiske metoder. En anden konsekvens af det epistemologiske perspektiv er, at den matematiske logik, sådan som den blev udviklet af især Frege og Russell, må udvides (og måske endda udskiftes) med en probabilistisk, dvs. sandsynlighedsorienteret, variant. De deduktive og induktive følgeslutninger i den klassiske logik arbejder altid med de dualistiske kategorier sandt og falsk, ja og nej, 0 og 1. Men hvordan kan man håndtere en situation, hvor vores viden ikke rækker til at afgøre, om et udsagn er sandt eller falsk, 0 eller 1?

Og i den forstand har det måske vist sig, at Einstein og Bohr talte om to forskellige ting. For når Einstein sagde, at Gud ikke spiller med terninger, så mente han, at der måtte findes nogle underliggende regelmæssigheder for, hvordan naturen opfører sig. Og det er så naturvidenskabens pligt at forsøge at finde disse regelmæssigheder, om det så skal formuleres i form af love eller teorier. Til gengæld insisterede Bohr på, at enhver forsøgsopstilling, som vil aflure naturens hemmeligheder, er en uadskillelig del af naturen selv, og at opstillingen – inklusive observatøren – må medregnes i ligningerne. Bohr bibeholdt således et epistemologisk perspektiv (der forholder sig til, hvad vi kan vide om verden), mens Einstein bibeholdt et ontologisk perspektiv (der forholder sig til selve verden).

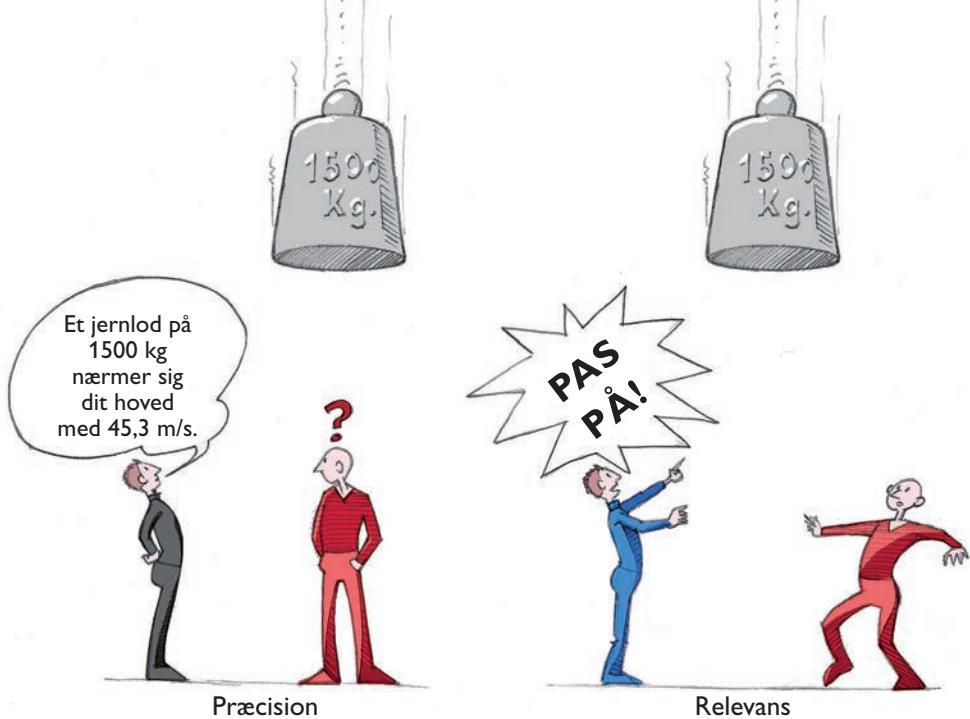
Man kan sige, at den epistemologiske tilgang har vundet mere indfly-

## Fuzzy tænkning

Én måde at angribe sagen på er at udvikle en logik, der direkte kan håndtere et ”måske” – en gråzone, hvor både ja og nej, god og dårligt, sandt og falsk har en vis ret. Denne metode blev introduceret under navnet *fuzzy logic* af den azerbaidjanskfødte ingenør Lotfi Zadeh (f. 1921) i 1965, men blev faktisk allerede undersøgt af de polske logikere Jan Lukasiewicz (1878-1956) og Alfred Tarski (1902-83) i 1920’erne og 30’erne. I dag bliver fuzzy logic flittigt brugt i maskiner, som skal kunne reagere ”klogt” på input fra omverdenen, og som derfor skal kunne håndtere modsigelsesfyldte data. En dansk virksomhed, F.L. Smidth, var faktisk det første firma i verden, som brugte fuzzy logic til at regulere tilførslen af brændsel og ilt i cementovne.

Her et eksempel på, hvad fuzzy logic kan gøre: for at finde ud af hvor lang tid en vaskemaskine skal vaske en vis mængde tøj, skal den kunne afgøre, hvor snavset og hvor fedtet tøjet er. Fuzzy logic giver hver tøjgenstand en vægtning af snavsethed og fedtethed (på en skala med f.eks. tre intervaler: ”lidt urent”, ”snavset” og ”meget beskidt”), således at mængden af sæbe og vasketid kan justeres tilsvarende. Fuzzy logic giver med andre ord en mekanisk procedure til at konstruere beslutningsregler ud fra komplekse data. Forskning i kunstige neurale netværk har været et oplagt sted til at bruge fuzzy logic, men også inden for lægevidenskaben har metoden fået en vis opmærksomhed, idet den kan bruges til bedre at individualisere patientbehandling og medicinering.

Fuzzy logic er i modstrid med den klassiske aristoteliske logiks princip om bivalens (tidligere omtalt som det ækvivalente ”udelukkede tredjes princip”, *tertium non datur*), der siger, at ethvert logisk udsagn enten skal være sandt eller falsk. Det kan ikke være begge dele eller noget midt imellem. Denne filosofiske position tillægges typisk grækeren Parmenides (ca. 525-450 f.v.t.), som sagde, at ”alt må enten være eller ikke være”. Aristoteles forsvarede Parmenides’ position i sin kritik af Heraklit (ca. 540-480 f.v.t.), og siden da har dette bivalente princip været almen visdom i vestlig filosofi. Men som vi har set, findes der øjensynligt mange gråzoner, hvor der gælder et ”både og”, og der findes naturlige paradoxer, hvor det modsatte af en sandhed kan være en anden sandhed. Der findes ikke-lineære systemer og fraktaler, hvor det ubeviselige er beviseligt, hvor det kaotiske er stabilt, og hvor helheden kan genfindes i dets dele. Fuzzy logic, sådan som den er blevet videreudviklet af blandt andet amerikaneren Bart Kosko (f. 1960) i 1990’erne, er i stand til at



Med fuzzy logic forsøger man bl.a. at skelne intelligent mellem præcision og relevans. Det er ikke i alle situationer nødvendigt at modtage alle tilgængelige data.

acceptere nogle af disse forhold, fordi den er multi-valent og vag i sin afgrænsning af objekter og mængder. Det skal siges, at fuzzy logic stadig er en relativ ukonventionel genre, der indtil videre kun har fundet rodfæste i ingeniørvidenskaberne. Bart Kosko mener dog, at fuzzy logic er begyndelsen til en helt ny tilgang til logikken, baseret på uvished, snarere end vished. Han viser f.eks., hvordan fuzzy logic kan løse et af de store paradokser i klassisk logik – det tidligere omtalte barber-paradoks. Kosko mener, at hvis man kommer frem til en konklusion om, at barberen både barberer sig selv og ikke barberer sig selv, så må begge positioner have lige stor sandhedsværdi – med andre ord må det være lige rigtigt, at han både barberer sig og ikke barberer sig. Det minder lidt om de ”mystiske” elementer i østlig filosofi, hvor paradokser bruges flittigt til at skabe en kompleks forståelse af verden. Når der i den kinesiske visdomsbog  *(6. årh. f.v.t.) f.eks. står, at når det smukke anerkendes som smukt, indeholder det allerede det grimme, eller når Heraklit mener, at begrebet varmt allerede indeholder tanken om noget koldt, så betyder det også, at en sandhedsdom altid kun er meningsgivende i forhold til sin modsætning, hvilket også forhindrer eksistensen af absolutte sandheder som andet end sproglige kategorier.*

## Betingede sandheder

En anden og også relativ ukonventionel tilgang til at udvide gængs logisk tænkning med en moderne probabilistisk variant kan man finde i den bayesianske sandsynlighedsteori (efter Thomas Bayes, 1702-61). Her en kort introduktion: når man har nok information om et bestemt problem, kan man som regel bruge almindelig deduktion og udlede sine resultater ud fra nogle generelle sammenhænge og love. Men meget ofte mangler man tilstrækkelig information, og så kræver det snarere en slags induktiv tænkning, der med fordel kan benytte sig af bayesianske følgeslutninger. De bruger ligesom fuzzy logic slørede gråzoner mellem ja og nej, dog via en fundamentalt anden tilgang. En bayesiansk følgeslutning starter med nogle plausibilitetsovervejelser, dvs. et godt gæt, hvorefter sandsynlighedsvægtene justeres, alt efter hvilken yderligere information man får ud af systemet efterhånden. Den arbejder sig med andre ord iterativt tættere og tættere ind på den mest sandsynlige forklaring ud fra givne data.

Forestil dig, at du skal købe to julegaver for at glæde din kollegas to børn. Mens du leder efter nogle gode ting i legetøjsbutikken, kommer du i tanke om, at du ikke kan huske, om de to børn begge er drenge, eller om de er en dreng og en pige. En pinlig situation. Spørgsmålet er derfor: vil du købe to drengegaver eller vil du købe en drenge- og en pigegave?

Hvad er sandsynlighederne for at ramme rigtigt? Selv matematisk trænede mennesker har ofte problemer med svaret. Måske tænker man, at fødslen af børn er statistisk uafhængige hændelser, og at det derfor er ligeledigt at vide, om det ene barn er en dreng, dvs. at sandsynligheden for at få en dreng til er (mere eller mindre) 50 procent og dermed basta. Men det er forkert. Spørgsmålet var betinget af, at der var to børn, og at det ene var en dreng. For at finde det rigtige svar må man adskille sin viden om apriori sandsynligheder (et plausibelt gæt om at en dreng bliver født ca. hver anden gang) med de betingede sandsynligheder, der er situations- og vidensafhængige. For at følge ræsonnementet skal man spørge sig selv om følgende ting: 1) hvad er apriori sandsynligheden for, at et ægtepar med to børn har to drenge? Svar: 0,25 eller 25 procent. 2) Hvad er sandsynligheden for, at ét af dem er en dreng? Svar: 0,75 eller 75 procent, fordi de fire muligheder er dreng-dreng, dreng-pige, pige-dreng og pige-pige (idet vi ikke ved, hvem af børnene er en dreng, og hvem en pige, er dreng-pige og pige-dreng to forskellige situationer). For at få det rigtige svar på det oprindelige spørgsmål



Der er mange eksempler på øjensynlige paradoxer, som kun trænede eksperter kan gennemskue. Blandt de mere berømte er det såkaldte Monty Hall-problem. Navnet stammer fra det amerikanske quiz-show *Let's make a deal* fra midten af 1960'erne, hvor studieverten Monty Hall stiller deltageren over for følgende afsluttende problem: bag én af tre døre står der en Cadillac, fri til afhentning, mens der bag de to andre står en sur ged. Udfordringen er så at vælge den rigtige dør og vinde Cadillacen. Efter at deltageren har gættet på f.eks. dør nummer ét, åbner Monty Hall en af de andre to døre. Han sørger altid for at åbne for en ged – og derefter spørger han: "Vil du vælge om?" Ja, ville du vælge om? Du har endnu ikke set indholdet af din først valgte dør. Det må være klart, at du oprindeligt havde en tredjedel chance for at vinde bilen, og at den nu er steget (til 50 procent?), idet Monty Hall har udelukket en af dørene. Men skulle det hjælpe at vælge den anden dør nu? Svaret er, at det er en rigtig god ide at vælge om. Faktisk øges sandsynligheden til det dobbelte, og for at finde svaret (at man nu har 2/3 sandsynlig for at vinde Cadillacen) må man ræsonnere på en lignende måde som i eksemplet med drenge- og pigegaven · Hatos-Hall Productions, Los Angeles.

må man derfor dividere 0,25 med 0,75, hvilket giver 0,333... Man skal altså (statistisk set) købe en drengegave og en pigegave.

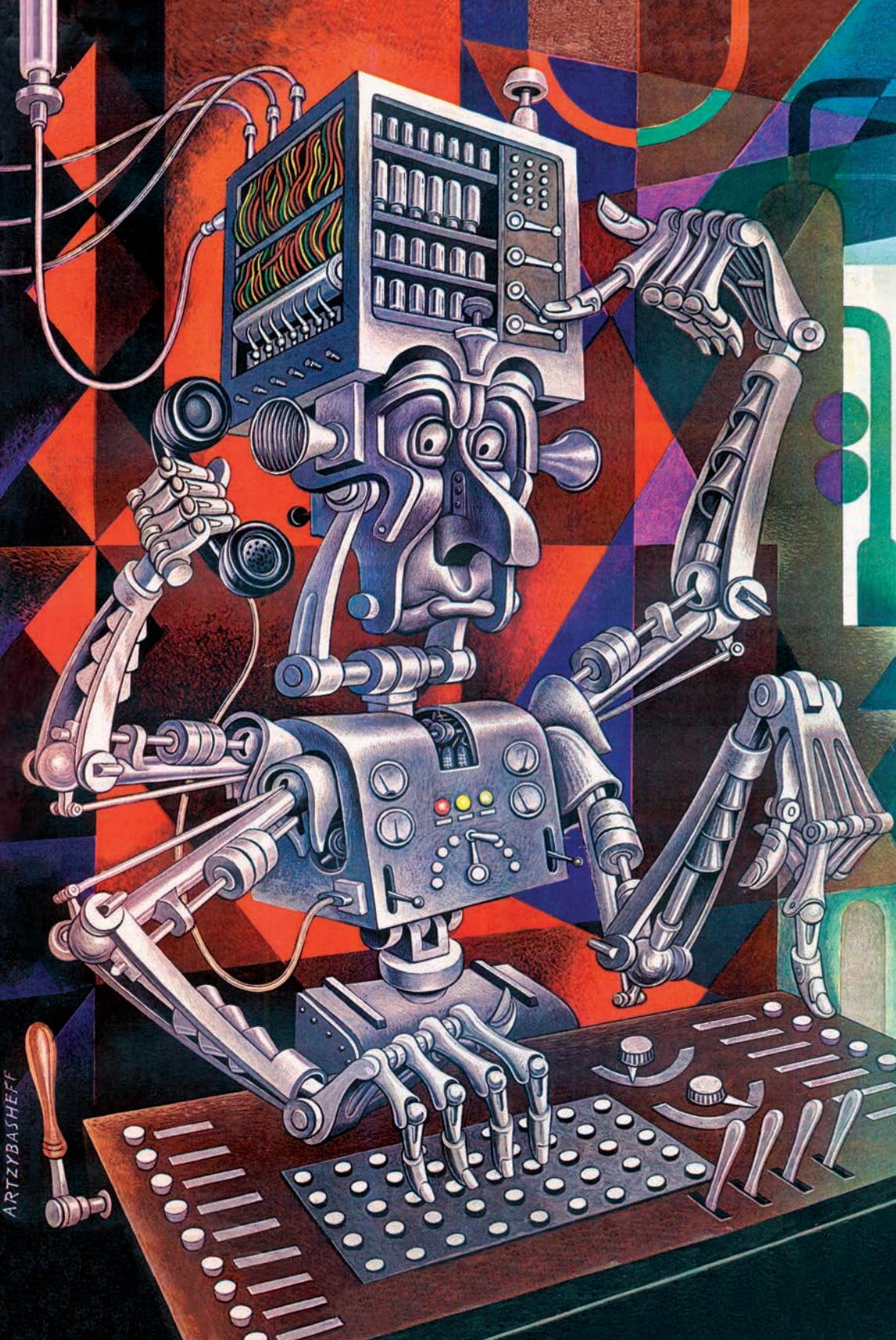
Det var oprindeligt den engelske præst Thomas Bayes, der i midten af 1700-tallet formulerede de sandsynlighedsteoretiske rammer og teoremer til grund for den slags analyser. Men til trods for flere hundrede års kendskab til dem, er betingede sandsynligheder stadig notorisk svære at kapere og basis for mange diskussioner. Den bayesianske sandsynlighedsteori er blevet viderefudviklet af folk som bl.a. de to amerikanske statistikere Richard T. Cox (1898-1991) og Edwin T. Jaynes (1922-98) mellem 1970 og 2000 og har haft en stor aklarende virkning for en lang række moderne fortolkninger af fysiske og matematiske teorier om verden, hvor observatørens manglende viden spiller en rolle.

Jaynes formåede f.eks. at skabe en direkte

fysisk forbindelse mellem Shannons information og sandsynlighedsteoretiske problemer. Hvis Shannon-entropien angiver den mængde af viden, som vi har om et givent sæt data, så kan den også tolkes omvendt, nemlig som den viden, der ”skævrider” vores totale uvidenhed. Det kan lyde skørt, men kan bruges til at luge ud i de ofte hjemmelavede sandsynlighedsfordelinger over fysiske processer, hvor forskeren har svært ved at adskille viden og uvidenhed. Denne fremgangsmåde, som er blevet kaldt princippet om maksimal entropi, er siden blevet brugt med stor effekt inden for fysisk modellering og også inden for kvantemekanikken.

Denne og andre bayesianske fortolkninger har bidraget væsentligt til at forstå adskillelsen mellem to meget forskellige beskrivelsesniveauer i naturvidenskabens moderne idehistorie: det ene (ontologiske) niveau handler om at beskrive, hvordan verden virker, ligesom Galilei, Newton og Einstein gjorde det med deres teorier. Det andet (epistemologiske) niveau handler om at beskrive, hvad vi kan vide om verden, ligesom Boltzmann, Bohr og Gödel gjorde med deres teorier. De har brug for hver deres metoder og begreber. Mens informations-tænkningen langsomt er ved at erstatte energitænkningen, er den klassiske logik langsomt ved at blive udvidet til en probabilistisk logik.

Dog er vores forståelse af konceptet ”information” i dag sandsynligvis på samme niveau, som Galileis forståelse af temperatur var for 400 år siden, dvs. ret ringe. Vi kan tælle informationsmængder, måle transmissionskapaciteter og beregne sandsynligheder, men vi ved ikke, hvordan alt dette relaterer sig til et betydningsindhold, til dannelsen af mening. Der er blevet gjort en lang række betydningsfulde fremskridt i løbet af de sidste årtier, f.eks. ved brugen af et informationsbegreb, som den britiske biostatistikker Ronald Fisher (1890-1962) havde udviklet allerede i 1925, eller i den svenske ingeniør Jan Kåhres (f. 1940) teorem om ”den aftagende informations lov” fra 2002. I dette teorem slår Kåhre fast, at der findes et fundamentalt asymmetrisk element i enhver informationsoverførsel, lidt ligesom i den kinesiske hviskeleg, hvor man sidder i en rundkreds og hvisker et budskab i øret på den næste, indtil man er nået hele vejen rundt. Legen viser, at den oprindelige information kan hviske sig vej til radikalt andre betydninger eller helt miste sin betydning. Kåhres arbejde er måske begyndelsen på en teori om informationens indholdsbetydning, hvilket er i stærk kontrast til Shannons klassiske teori, der tæller bits og mäter transmissionskapaciteter.



ARTZYBASHEFF

# 8 Kulturens videnskabeliggørelse

Lenin, grundlæggeren af Sovjetunionen, sagde, at kommunisme var elektricitet plus taylorisme. Dermed pegede han på to væsentlige faktorer for et moderne samfund: en avanceret videnskabsbaseret teknologi og en på videnskabelige principper organiseret økonomi og produktion. Det var ikke kun kommunister, der tænkte på denne måde, det blev en model for stort set alle højt udviklede samfund i løbet af 1900-tallet. Samfundet blev videnskabeliggjort, og videnskabelige grundprincipper og værdier kom til at stå centralt. Samtidig skete der det besynderlige, at det var vanskeligt helt præcist at redegøre for, hvad man mente med ”videnskabelige grundprincipper og værdier”. Det medførte en diskussion af, hvad der egentlig gjorde videnskab til videnskab, og af hvordan og hvorfor videnskab var noget særligt – eller om videnskaben overhovedet var så meget en enhed, at man kunne tale om videnskaben på en meningsfuld måde.

I det følgende vil vi se på nogle områder, hvor der skete en meget kraftig videnskabeliggørelse af selve dagliglivet. Det måske væsentligste er arbejdslivet og organiseringen af økonomi og produktion ud fra den type ledelse, som kaldes ”scientific management”. Derudover på feltet design og arkitektur, hvor funktionalismen med en videnskabelig tilgang afgjorde, hvordan huse, brugsgenstande m.v. skulle fungere og se ud. Endelig var der mange, der mente, at man skulle videnskabeliggøre det politiske liv, i og med at videnskaben med sine værdier kunne danne basis for politiske værdier – her

var det især demokratiet, der var på tale.

I den første industrielle revolution var videnskaben en aktør på sidelinjen. Den anden industrielle revolution, der førte frem til det videnskabsbaserede

◀ Boris Artzybasheff (1899-1965): *Fremtidens boss* (1947). Dette billede blev bragt i artiklen ”Cybernetics” i *Esquire Magazine* i 1952. Ken Steacy Publishing.

industrisamfund i 1900-tallet, var anderledes. Her spillede videnskaben en helt anden central rolle. Der var skabt grobund for videnskabsbaserede stor-industrier – såsom den kemiske industri og den elektriske og senere elektroniske industri – og man forsøgte at introducere videnskabelige principper i selve organiseringen af produktionen. Dermed rykkede naturvidenskab og teknik ind som centrale faktorer i de avancerede industrisamfunds vidensorganisation. De naturvidenskabelige fakulteter, der efterhånden dannedes, blev centrale dele af et universitet, og der blev dannet tekniske universiteter, der opnåede stor status. Naturvidenskaben blev langsomt, men sikkert, modellen for, hvad viden og videnskab skulle være. Men samtidig begyndte en lang og kompliceret diskussion af, hvad det så egentlig var, denne videnskab byggede sin autoritet og indflydelse på.

Positivisten og grundlæggeren af sociologien, Auguste Comte (1798-1857), havde allerede i begyndelsen af 1800-tallet villet erstatte religion med videnskab. Men religionerne havde igennem århundreder arbejdet med at præcisere, hvad det var, der var deres indhold og centrale dogmer. En lutheraner vidste præcist, hvad der adskilte hende fra en reformert eller en katolik. Der var også klarhed over, hvad der definerede f.eks. det at være troende. Der var en troens og overbevisningens logik og etik. Hvis videnskaben, og især naturvidenskaben, skulle overtage religionens status, måtte man have klare forståelser for, hvad det egentlig var, der var det centrale. Man kunne

selvfølgelig, som også adskillige religioner gjorde, dyrke de store personligheder og pege på de beundringsværdige eller geniale indsigt. Videnskaben havde, ofte i samarbejde med teknologien, store karismatiske værdier og egenskaber. Men efterhånden som videnskaben blev mere og mere institutionaliseret, fik egne store forskningsinstitutter og blev en væsentlig faktor i industrisamfundenes politik og økonomi, var det vigtigt at opdyrke en mere upersonlig og rationel redegørelse for, hvad der egentlig var videnskabens kerne, dens ”sjæl”.

Videnskabsmænd som Max Planck (1858-1947) og Henri Poincaré (1854-



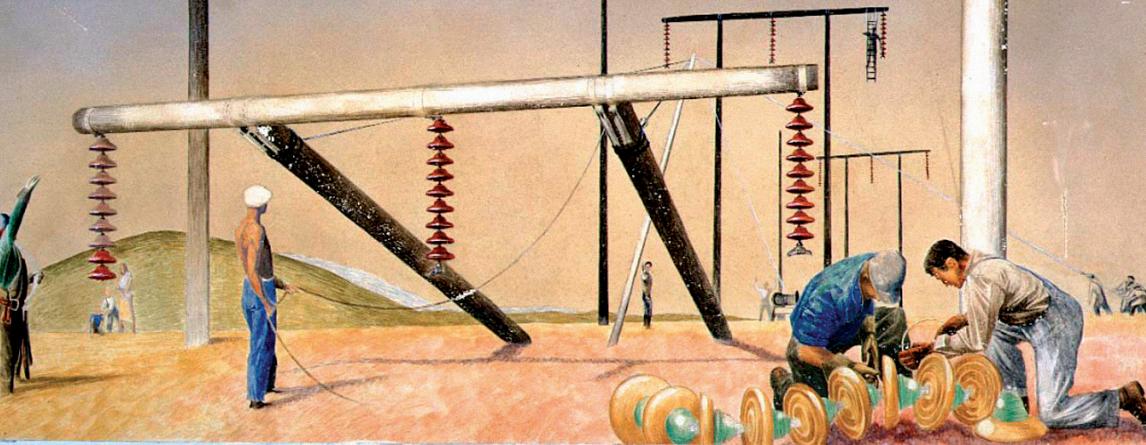
Historisk har positivismen været særligt stærk i Brasilien, hvor der bl.a. findes en regulær Positivistisk Kirke. Under deklarationen for den første Brasilianske republik i 1889 besluttede de to ”positivistiske apostle” Miguel Lemos (1854-1917) og Teixeira Mendes (1855-1927) at citere Auguste Comte på landets flag: *Ordem e Progresso* (“Orden og Fremskridt”). Her ses den originale tegning til flaget af Décio Vilares (1851-1931) fra 1889.

1912) havde gjort sig tanker om dette, og den tradition blev fortsat af en lang række andre videnskabsmænd, der kastede sig over videnskabsfilosofiske problemer. Men det blev i anden halvdel af 1900-tallet en ny gruppe af ”professionelle”, videnskabsfilosofferne, der kom til at leve bud på, hvad der egentlig var det afgørende ved videnskaben. Disse blev suppleret med bud fra empirisk orienterede forskere, der ikke kun så videnskaben som et abstrakt teoretisk fænomen, det skulle forstås filosofisk, men som en menneskelig, social og økonomisk aktivitet, der også skulle studeres samfundsvidenskabeligt.

## Arbejdsdeling og masseproduktion

I slutningen af 1800-tallet tog industrialiseringen en ny vending. Der opstod virksomheder med meget kompleks organisation og produktion. En væsentlig faktor var udbredelsen af jernbanen og muligheden for en pålidelig søtransport. Dampmaskinen nyttiggjordes i form af lokomotiver og dampskibe. Nye produkter som bilen, symaskinen og selvbinderen ændrede i stigende grad folks hverdag. Man kunne rejse, man kunne sy eget tøj, og der skabtes en mekanisering i landbruget, som i ganske mange vestlige lande var en helt afgørende økonomisk sektor, både penge- og arbejdsmæssigt. Håndværket forandredes og blev mere maskinelt, og der opstod en enorm mængde virksomheder, der baserede deres produktion på maskiner.

Jern, stål og damp var den første fase i industrialiseringen. Dernæst kom fremvæksten af en udbredt mekanisering. Den tog rigtig fart, da elektriciteten og elektromotoren muliggjorde anvendelsen af maskiner decentralt i små byer og ude på de enkelte gårde. Samtidig var der en om ikke jævn, så dog markant økonomisk vækst. Det var i USA, at man så disse udviklinger først. Jernbanen og stålværkerne skabte en rasende kapitalistisk udvikling, og senere kom den kemiske industri og olieindustrien til. Store virksomheder med mange tusinde ansatte voksende frem, hvilket skabte helt nye problemer omkring arbejdets tilrettelæggelse og koordinationen og dokumentationen for aktiviteterne. Man skulle ikke kun organisere selve fremstillingsarbejdet, også voldsomme mængder administrativt arbejde kom til. Der skulle holdes orden på løn, på de enkelte ordrer og lagre, på transporter og meddelelser. Der skete sideløbende en voldsom ændring i kommunikationssystemerne. Regelmæssig post blev muligt med jernbane og dampskib, dernæst kom telegrafen, og omkring 1900 var telefon og radio blevet mulig.



David Stone Martin (1913-92): *Electrification*, 1935 · Fine Arts Collection.

Beskæftigelsesmønstret ændrede sig også radikalt, og flere og flere blev ansatte lønarbejdere. ”Nedefra og op” var der lønarbejdere i tusindtal, dernæst mellemledere, så en administration og øverst en ledelse med direktører og bestyrelse. Nye ejerformer blev udbredte – i USA først og fremmest aktieselskaber – og disse bredte sig også til Europa og blev efter 1900 en ganske fremtrædende måde at finansiere og styre virksomheder på. Mange af de virksomheder, vi stadig genkender som noget næsten selvfølgeligt, opstod i denne tid – ofte grundlagt af én virksom person, der gav virksomheden dens navn: Siemens, Philips, Ford, du Pont m.fl. Senere opstod sammenslutninger, der blev giganter: General Motors, General Electric, IBM, ICI, Shell, Unilever osv. Sideløbende med statens aktiviteter – f.eks. postvæsen, skattevæsen, jernbanedrift (i Europa), skoler og universiteter – opstod det, vi i dag kalder ”det private erhvervsliv”, hvor størstedelen var ansatte som enten arbejdere eller funktionærer. Derudover var der selvfølgelig stadig landbrug og håndværkere, hvis traditioner gik tilbage til middelalderens laug.

Man havde i England bl.a. udviklet damphammeren, der tillod tilvirkning af store tunge jern- og stålelementer, og man havde udviklet drejebænken, der tillod præcis tilvirkning af komplekse emner i metal. Karakteristisk for begge maskiner var dog, at de var meget generelle – dvs. de var værkøj, der kunne bruges til mange forskellige opgaver. Derfor skulle de stadig betjenes af en kvalificeret metalarbejder. Sagt med andre ord var den højt specialiserede smed blevet metalarbejder.

I midten af 1800-tallet havde man i USA på visse områder realiseret den ide, at en hel produktionsproces kunne udføres af maskiner. Man havde udviklet en anden type maskiner, der kun kunne udføre én bestemt arbejdsop-

gave, men til gengæld med meget stor præcision. Maskinerne var specialiserede, og det krævede stort set ingen håndværksmæssig kvalifikation at betjene dem. Dette muliggjorde dels, at den specialiserede arbejdskraft langt hen ad vejen kunne afvikles, og dels, at man kunne frembringe produkter, hvis dele var udskiftelige. Det vil sige, at man kunne serieproducerere de dele, som et produkt bestod af, og så samle produktet i en anden arbejdsproses. På den måde kunne man f.eks. producere enorme mængder af identiske ure eller pistoler. Før i tiden havde ethvert produkt været unikt – dvs. at ingen to ure eller to pistoler var ens. Det betød også, at hvis noget gik i stykker, måtte der specialfremstilles en reservedel, der netop kun passede til dette ene produkt. Med de nye teknikker for serieproduktion fremstillede man derimod produkter med udskiftelige dele – og derfor kunne man producere standardiserede reservedele, og så udskifte den defekte del med en af disse. Det muliggjorde reel industriel produktion og dermed helt nye former for virksomheder, produkter og markeder.

Det kendteste produkt fra midten af 1800-tallet med udskiftelige dele var Samuel Colts (1814-62) seksløber, der i årtier var kroneksemplet på et teknisk avanceret, for ikke at sige fuldkomment, produkt. Netop fordi den var mekanisk og ikke håndværksmæssigt produceret, gav det enorm prestige at eje en sådan pistol. I 1880’erne lykkedes det virksomheden Singer at frembringe symaskiner med udskiftelige dele, og samtidig frembragte brødrene McCormick selvbindere med udskiftelige dele. Det muliggjorde symaskine-produktion i størrelsesordenen 500.000 symaskiner årligt. En sådan stordrift muliggjorde priser, der var til at betale, og mange private hjem fik egen symaskine. Samtidig voksede Singer som virksomhed helt enormt.

Den, der først og fremmest kom til at præge det 20. århundredes opfattelse af arbejde og arbejdsorganisation, var amerikaneren Frederick W. Taylor (1856-1915). Han skabte begrebet “scientific management” og hele den bølle, der fik betegnelsen “rationalisering”. I 1911 udgav han en samling artikler om emnet, efter at han i nogle år havde arbejdet som konsulent for en række store virksomheder. Hans første drivende princip var det moralske: at man skulle undgå spild. Spild var spild af ressourcer og betød, at alle i virkeligheden tabte og dermed satte sig i en værre situation, end der reelt var mulighed for. Man skulle i stedet anvende og udnytte de forhåndenværende ressourcer bedst muligt. Det skete efter Taylors mening ved at sikre en klar



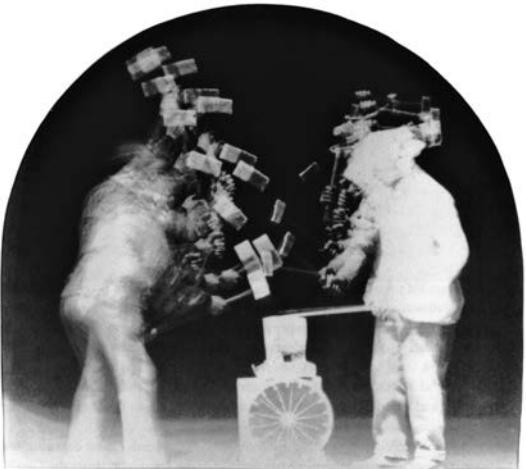
Samuel Colts seksløbere var et af de første produkter med fuldt standardiserede og derfor udskiftelige dele. Her ses en præsentationsæske fra 1850'erne. · James D. Julia Auctioneers, Fairfield, Maine.

deling af arbejdet. Det skulle ske med en skarp opdeling mellem dem, der ledede arbejdet, og dem der udførte det – og ved at opdele arbejdet i mindre, klart definerede enheder eller opgaver. Endelig skulle arbejderen motiveres ved hjælp af muligheden for højere løn, hvis han ”adlød” og fulgte ledelsens anvisninger. Ledelsen på sin side skulle tilrettelægge arbejdet ud fra klare studier af, hvordan man kunne sikre, at færrest muligt mennesker kunne udføre mest muligt. Taylor opfattede hele virksomheden som en stor maskine, hvor alt skulle køre veltilrettelagt og velsmurt. Som sagt skulle hver opgave opdeles i mindre dele, indtil man fik så enkle opgaver som muligt, der – efter træning af arbejderen – kunne udføres på så kort tid som muligt. Derudover skulle man kun udvælge gode, stærke og lydige arbejdere. Ved tidsstudier af en kvalificeret og god arbejder kunne man fastlægge de tidsintervaller, der hørte til de enkelte opgaver. Ved så at sammenstykke og minimere tiden til transport, skift af redskaber osv. kunne man opnå en stadig produktivitetsforbedring. Hvert element i arbejdsprocessen skulle således studeres med målinger, og det skulle være muligt rent kvantitativt at afgøre, om man faktisk forbedrede produktiviteten.

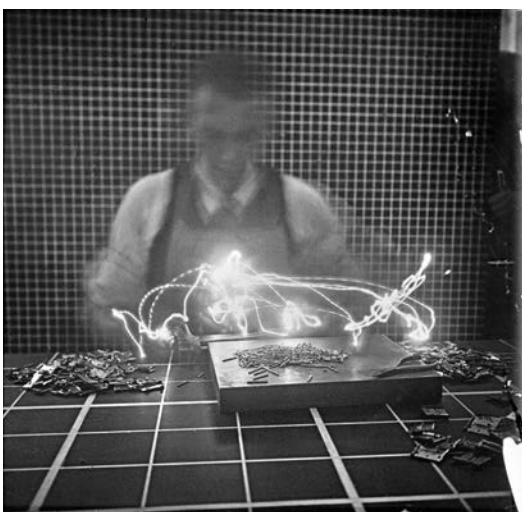
Fordi målinger og kvantificering indgik, mente Taylor, at hans metoder var videnskabelige. Han mente også, at det var muligt med videnskabelige metoder at komme stadig tættere på et optimalt resultat. Virksomheden ville tjek-

ne mere, og det ville arbejderne også – især hvis man indførte aflønning ud fra det faktisk udførte. Det viste sig bl.a. i form afakkordløn. Den egentlige ledelse skulle ligge hos de ingeniører, der på videnskabelig vis kunne studere og tilrette-lægge arbejds- og produktionspro-cesserne. De var godt nok også ansatte i virksomheden, men burde efter hans mening være de egentlige professionelle ledere. Det lykkedes faktisk Taylor at forbedre produktiviteten i en række virksomheder voldsomt. De ansatte fik væsentlige lønstigninger, men til gengæld også utroligt ensformigt arbejde.

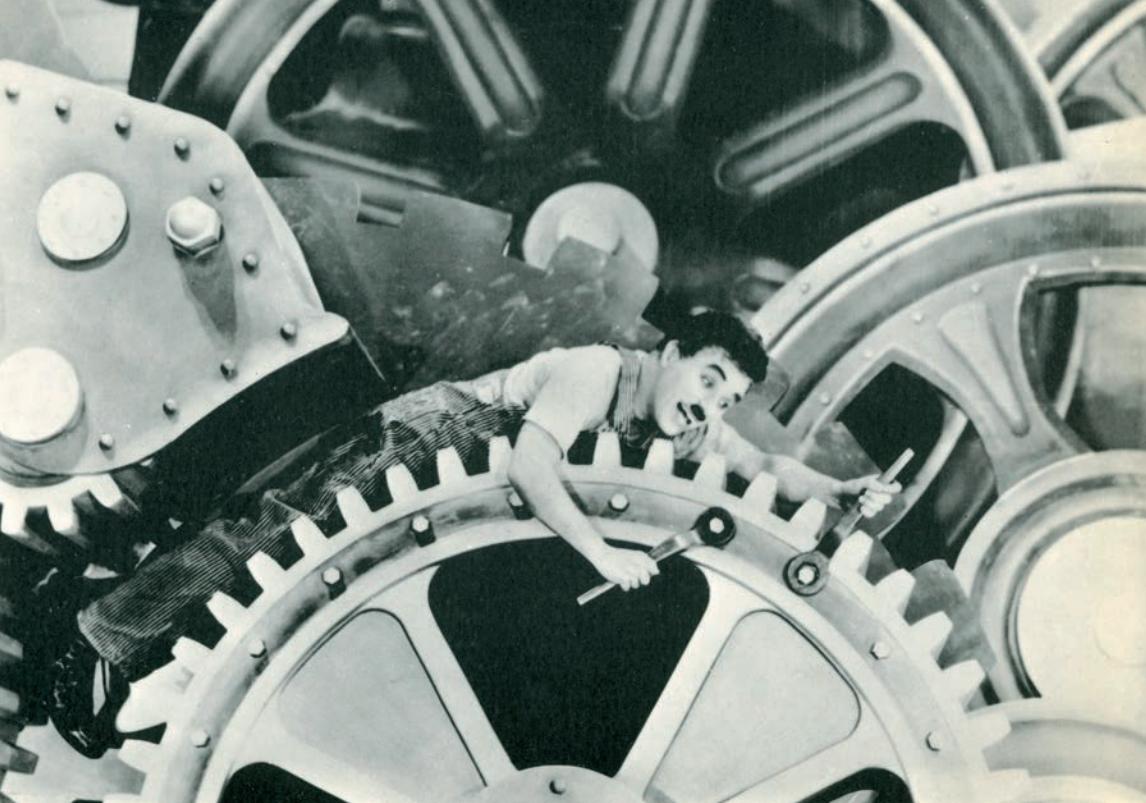
I løbet af 1920'erne og 30'erne bredte Taylors ideer og principper sig i de industrialiserede samfund. Det blev modellen for rationel produktion, og selv i det kommunistiske Sovjetunionen blev ideerne retningsgivende. I dag anvendes Taylors teknikker stadig i styringen af komplekse produktionsproces-ser, hvor der skal holdes styr på et utsal af dele, maskiner, arbejdsopga-ver og ordrer. Taylor gennemførte radikalt principperne om arbejdss-deling, som allerede Adam Smith (1723-90) og Charles Babbage (1791-1871) havde formuleret, og han gjorde det på basis af systematiske målinger for at opnå den mest effektive organisering af arbejdet.



Den franske videnskabsmand og fotograf Étienne-Jules Marey (1830-1904) foregreb med sine "kronotografier" fra 1880'erne Frederick W. Taylors tanker om at effektivisere menneskets bevægelser ved at analysere dem i deres mindste bestanddele. Her er to smede foreviget under deres arbejde.



En arbejder udfører sit job under opsyn af effektivitets-eksperter. Små lys er bundet fast om hans arme, og et kamera tager mange billeder i sekundet for at kortlægge arbejdsspro-cessen i mindste detalje. Kameraets opfinder Frank Gilbreth (1868-1924) mente, at man hermed kunne eliminere nyt-telose bevægelser og transformere arbejdet til et fast mønster af "effektive bevægelser". Mange chefer fejrede sådanne "scientific management"-teknikker i håbet om at øge produktionen og få bedre kontrol med arbejdskraften . National Museum of American History, Smithsonian Institution.



Lavet under den store depression i USA udtrykte Chaplins sidste store "stumfilm" *Moderne Tider* (1936), hvad millioner af mennesker følte. Til afmagten over for et såkaldt rationelt, men inhumant, industrialsamfund føjede sig arbejdsløshed, sult og fattigdom. Chaplins brug af stumfilmsgenren var i sig selv en stille protest mod de nye synkroniserede lydfilm, der vandt frem i løbet af 1930'erne. Filmen benyttede sig dog af lyde, ikke i form af dialog mellem mennesker, men i form af lyde fra maskiner og andre mærkelige apparater, hvilket forstærkede følelsen af fremmedgørelse i Chaplins pantomime. Roy Export Company Establishment/www.charliechaplin.

## Moderne tider

Det produkt, der først og fremmest kom ud af denne udvikling, og som ændrede livsformerne i det 20. århundrede markant, var bilen. Den blev skabt på samlebånd som masseproduceret vare af amerikaneren Henry Ford (1863-1947) fra 1913 og frem. Inspireret af Taylors principper benyttede han maskiner, der kun kunne lave én ting – men til gengæld lavede denne ene ting med uhørt præcision –

ligesom han styrede arbejds- og produktionsprocesserne med enorm effektivitet. Samlebåndet muliggjorde derudover en minimering af den tid, der blev brugt til at flytte et element i produktionen fra den ene bearbejdningsproces til den anden. I filmen *Moderne Tider* fra 1936 har Charles Chaplin (1889-1977) givet en ironisk og kritisk fremstilling af det taylorisede samlebåndsarbejde, hvor mennesket blot opfattes som et tandhjul blandt andre i en velsmurt maskine, nemlig fabrikken. Taylors måde at se arbejde og pro-

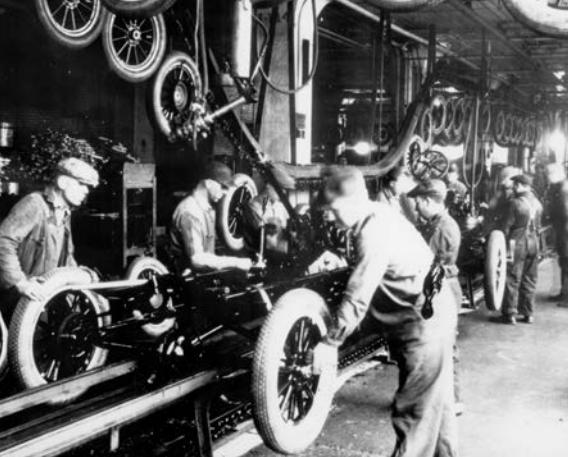
duktion på blev på godt og ondt indbegrebet af det rationelle, af det moderne, og hans dyrkelse af den maskinelle logik blev et forbillede for mange tænkning om samfund og organisationer.

Henry Ford skabte ikke alene samlebåndsarbejdet, han blev også ekspONENT for en forestilling om økonomisk vækst skabt gennem en kombination af ny teknologi, ny arbejdsorganisation og ny ledelse. Det centrale i denne vækstopfattelse var, at man igennem kombinationen af teknologi og organisation kunne opnå produktivitetsforbedringer, der ville gøre det muligt at skabe større almen velstand. Ved at betale sine arbejdere højere løn, dvs. give dem del i den øgede indtjening, skabte Ford også en større efterspørgsel, og specielt efterspørgsel efter biler. Der blev således indledt en spiral, hvor økonomien udvides via øget forbrug og købekraft hos brede dele af befolkningen, hvilket både var muliggjort af og selv muliggjorde investeringer i teknologisk udvikling.

Ford var godt nok så “gammeldags”, at han mente, at man kun skulle skabe et produkt, der opfyldte et reelt behov. Der havde således været behov for et pålideligt og billigt transportmiddel – og derfor producerede han biler. Andre introducerede imidlertid hurtigt ideen om, at den økonomiske vækst kun kunne fortsætte, hvis forbrugerne i princippet aldrig blev stillet tilfreds. Det skulle ske ved, at man hele tiden introducerede noget nyere, bedre eller blot anderledes: en ny model, en ny mode eller stil.

De økonomiske og især de politiske problemer fra 1920’erne og frem – især efter erfaringerne fra det finansielle sammenbrud i 1929 – handlede om, hvordan man fik fordelt de gevinster, som væksten medførte. Det drejede sig især om samspillet mellem de ansatte og deres fagforeninger, virksomhederne og staten. Den amerikanske præsident Franklin D. Roosevelt (1882-1945) introducerede i løbet af 1930’erne en lang række politiske tiltag under betegnelsen “New Deal”, der gav det offentlige en aktiv rolle i samspil med virksomheder og organisationer. Det blev en stor succes og blev normdannende for den politiske virkelighed efter Anden Verdenskrig. I Europa fik fagforeningerne stor indflydelse via de socialdemokratiske regeringer, der i ganske mange lande skabte velfærdssamfund inspireret af lige dele socialistiske idealer og vækstøkonomisk realpolitik.

De basale ideer om indretningen af et industrisamfund, som Taylor og Ford havde formuleret, forblev stort set uændrede som basis for de vestlige landes måde at indrette sig på. Det betød dog ikke, at man var enig med



Henry Ford introducerede samlebåndsarbejdet i USA i 1910'erne · Benson Ford Research Center, Dearborn.

Taylor i hans opfattelse af arbejde og virksomhedsledelse. I løbet af 1920'erne og 30'erne viste

erfaringerne med Taylors metoder nemlig, at man i visse henseender måtte gentænke spørgsmålene om arbejde og ledelse. Der fremkom en række teorier, der pegede på, at en fuldstændig ensidig satsning på effektivitet faktisk ikke førte til effektivitet. En række forsøg udført på en af Western Electric's samlefabrikker for elementer til telefoncentraler syntes at vise, at det mest afgørende var de mellemmenneskelige relationer. Selvom arbejdet var monoton og egentlig meningsløst, så kunne man ved at satse bevidst på etableringen af meningsfulde menneskelige relationer mellem ledelse og arbejdere – og mellem arbejderne indbyrdes – både skabe arbejdsglæde og øge effektiviteten. Arbejdet skulle ikke opfattes som en isoleret opgave, men som led i en sammenhæng, der var meningsfuld og forståelig for arbejderen, og ledelsen skulle ikke kun interesser sig for at minimere spild, og dermed maksimere profitten, men skulle ansvarligt tage vare på de ansattes behov og velfærd.

Den amerikanske forsker Elton Mayo (1880-1949) formulerede en lang række principper for forståelse af arbejde og organisering i *The Human Problems of an Industrial Civilization* fra 1933. Som så mange andre i tiden søgte han brugbare ideer og teorier omkring organiseringen af et samfund baseret på masseproduktion. Et sådant samfund centrerede sig om store virksomheder med enorme produktionspotentialer, der kunne frembringe millioner af biler, køleskabe og andre produkter, der få år tidligere havde været luksus forbeholdt overklassen. Arbejdet i disse virksomheder var stærkt opdelt og for det meste monoton og nedslidende. Samtidig skabte det basis for en økonomisk vækst, der muliggjorde et større forbrug, en højere levestandard



og en forøgelse af det offentliges indsats inden for f.eks. undervisning og sundhed. Samtidig påpegede også han, hvor vigtige sociale og psykologiske faktorer var, ud over de rent økonomiske, for forståelsen af arbejdet og arbejdssituationen.

Samfundet blev et samfund af ansatte, der var lønmodtagere og dermed forbrugere. Som ansatte var de underkastet arbejdspladsens autoritet, men som frie borgere i et demokrati var de suveræne – her var de ikke lønmodtagere, men ”folket”, den politiske magts egentlige grundlag. For Taylor var arbejderen en soldat, der intet andet skulle end at adlyde sine ordrer. Det var til hans eget bedste. Mayo og andre i 1930’erne mente, at denne holdning måtte forkastes: arbejderen var ikke blot et element i den maskinelle organisation, men et levende menneske med følelser og behov, og dét måtte afspejles i den måde, arbejdet blev tilrettelagt på. Som vi senere skal se, skabte den økonomiske og teknologiske udvikling også alvorlige problemer med naturgrundlaget, problemer som man tidligt så f.eks. i det industrialiserede og mekaniserede landbrug.

Den amerikanske pioner inden for ledelse, Mary Parker Follett (1868-1933), pegede på samme tid på, at *kommunikation* var en central del af langt de fleste arbejdssituationer. Samlebåndet forsøgte at afskaffe denne del ved at reducere arbejderen til en maskindel, der blot udførte de elementære funktioner, man endnu ikke havde kunnet få maskiner til. Hun påpegede, at arbejde i grupper baseret på kommunikation imellem de arbejdende og med en ledelse, der var baseret på forståelse og accept fra alle involverede, faktisk i langt de fleste tilfælde førte til både større tilfredshed og større produkti-

Mellem 1924 og 1932 blev der udført en række eksperimenter på Western Electric-fabrikken Hawthorne Works uden for Chicago. Blandt andet testede man, hvordan arbejderne reagerede på ændrede lysbetegnelser. Det viste sig, at produktionen steg, både når man gjorde lokalerne lysere, og når man gjorde dem mørkere. Yderligere tests viste den samme produktionsstigning, og det blev tolket som et resultat af øget opmærksomhed på arbejderne og positive emotionelle bånd med ledelsen og forskerne · Western Electric.

vitet. Den politiske udvikling havde i de industrielle samfund medført større og større folkelig indflydelse, men den økonomiske og teknologiske udvikling havde samtidig medført større og større pres udefra – man var ofte reduceret til forbruger, der frit kunne vælge imellem stort set identiske varer, og til arbejdstager, der frit kunne vælge mellem forskellige helt uacceptabla arbejdssituationer. Det var vanskeligt at få de demokratiskes idealer om det myndige og selvbestemmende menneske til at passe sammen med de arbejdsmæssige realiteter. Frihedens rige blev i stigende omfang fritidens rige. Jo mere fritid, desto mere frihed.

Efter Anden Verdenskrig bredte den amerikanske masseproduktionsmåde sig til Europa og blev den moderne måde at organisere økonomisk aktivitet på. Anden Verdenskrig var i høj grad udkæmpet som en kappestrid imellem produktionssystemer, en kappestrid om hvem, der kunne producere flest kampvogne, fly og kanoner på kortest tid. I USA dukkede nu nye ideer om produktion op, der knyttede sig til begrebet "automatisering". Under Anden Verdenskrig havde man arbejdet med udvikling af selvregulerende og selvstyrende systemer inden for våbenteknologien. En række teoretikere havde forsøgt at udvikle teorier for systemer, der kunne udvise en form for formålsrettet aktivitet. Det skete via såkaldt "feedback". Det bedste eksempel var arbejdet med målsøgende luftværnskanoner styret af radar. Via information om granaternes sprængsted og flyets position kunne man automatisk styre kanonen på en sådan måde, at den skød tættere og tættere ved flyet. Den udviste altså af sig selv en adfærd, der så ud som om den søgte at ramme flyet.

Med disse erfaringer i ryggen formulerede en gruppe teknikere så i 1940'erne ideen om, at man ved hjælp af feedbackssystemer kunne udvikle et produktionsapparat, der hele tiden kontrollerede sig selv. Dermed kunne man måske helt undgå, at maskiner skulle styres og kontrolleres af mennesker. Utopien var den 100 procent automatiske fabrik. Ordet "automation" kom frem i 1947 som betegnelse for et sådant produktionssystem. Tanken kom bl.a. af, at man ønskede at få udført det mest monotone og nedslidende arbejde af maskiner, men ideerne fik også stor medvind i 1950'erne under Den Kolde Krig, hvor man ønskede at basere produktionen på ingeniører og andre højtuddannede, der var mere ideologisk pålidelige end arbejderne, som man frygtede altid ville være påvirkelige af kommunismens og socialismens ideer.

Rationalisering og automatisering blev nøgleord for udviklingen af produktionssystemerne i de vestlige industrialsamfund. Med den teknologiske udvikling inden for computerområdet blev det også gradvist muligt at realisere en del af ideerne, og fra 1970'erne og frem er der sket en voldsom automativering inden for arbejdssfæren. Arbejdets karakter har i mange sammenhænge bevæget sig fra at være manuelt og konkret til at være åndeligt og abstrakt. Det er meget lidt anskueligt, hvad man egentlig laver, og det er kun meningsfuldt, hvis det ses som led i en større, og ofte meget stor, sammenhæng. Håndværkeren, der producerer en brugsting eller nogle fødevarer, er erstatet af et industrielt system, hvor maskiner gør det konkrete, mens de ansatte stort set laver, hvad man har kaldt ”symbol-manipulation”, dvs. skriver, laver regnskaber, designer eller styrer og kontrollerer via skærme og tastaturer.

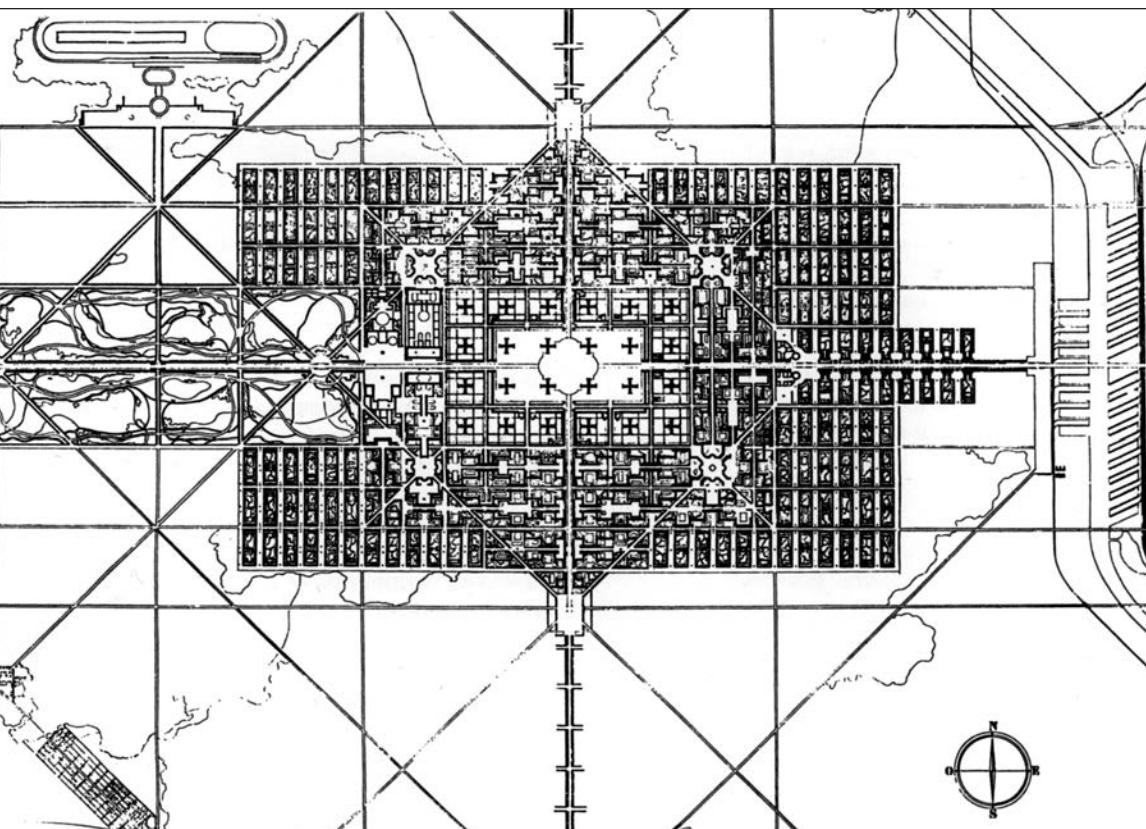
Hele denne udvikling blev af mange opfattet som umenneskelig og i modstrid med de idealer om menneskelig værdighed, som den vestlige kultur byggede på, hvad enten det drejede sig om kristendom eller oplysning. Den amerikanske forfatter Aldous Huxley (1894-1963) fremlagde allerede i 1932 med bogen *Fagre nye verden* en kritisk dystopi, hvor man f.eks. ikke regnede tiden ud fra Kristi fødsel, men ud fra Henry Fords. I løbet af 1930'erne fremkom flere og flere kritiske røster, der ønskede en mere dybtgående forståelse af den teknologisk baserede vestlige kultur og dens konsekvenser for menneske og natur. Den amerikanske forfatter og byplanlægger Lewis Mumford (1895-1990) udgav således en lang række kritiske værker, i hvilke han ud fra et demokratisk grundsynspunkt forsøgte at analysere problemerne med maskiner og masseproduktion. Det betød dog ikke, at maskintænkning og maskinideologi tabte indflydelse. Arkitekter, designere, byplanlæggere, pædagoger og mange andre tænkte i stadigt stigende omfang om huse, brugsgenstande, byer og skoler som komplekse maskiner. Et godt eksempel er den franske arkitekt Le Corbusier (1887-1965), der mente, at man skulle opfatte en boliggarré som en boligmaskine og indrette den ud fra netop denne metafor.

Det blev i forhold til naturen, at der først rigtigt skete et opgør med ideerne bag det masseproducerende industrialsamfund, fordi det forbrugte naturressourcer i uhørt omfang for at holde den enorme produktion kørende, hvilket var nødvendigt, hvis den igangsatte vækstproces skulle fortsætte. Samtidig medførte både produktion og forbrug en stigende mængde forurening, der gjorde, at byer og boliger, arbejdssteder og fritidssteder blev mere og mere usunde og uæstetiske.

Fra 1960'erne og frem kom den videnskabsbaserede industrialsamfundsmodel under pres fra mange fronter. Fælles for dem var, at man fokuserede på den rolle, som videnskab og teknologi spillede. Videnskaben var for nogle baseret på en "endimensional" forståelse af fornuft, og dermed en form for misbrug af fornuften, for andre var den så infiltreret med det samtidigt opkommende militært-industrielle kompleks, at den måtte kritiseres og radikalt ændres. For andre igen var videnskab, teknologi og økonomisk vækst elementer i en "Big is Bad"-filosofi, der måtte erstattes af en "Small is Beautiful". Et oplagt fokuspunkt er året 1968, studenteroprørets år, hvor efterkrigstidsgenerasjonen, der var vokset op med demokratiets idealer og normer, konfronterede disse med virkeligheden. Især virkeligheden som de mødte den på universiteterne, hvor man hyldede idealer om frihed, kritisk bevidsthed, fornuft og ligeværd. Som videnskabsfilosoffen Karl Popper (1902-94) så det, burde videnskaben være eksempel på det bedste, som mennesket kunne præstere

kollektivt. Men for studenteroprørerne så det ganske anderledes ud. For dem var videnskaben karakterise-

Le Corbusiers plan for en "by med 3 millioner indbyggere" fra 1923 © FLC/billedkunst.dk.



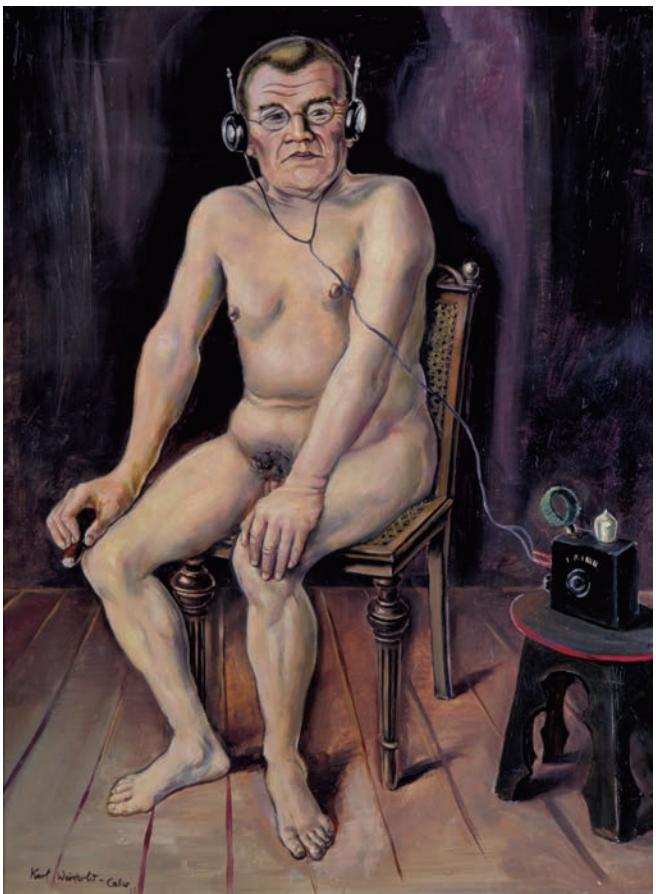


ret som "positivismen", og forskningspolitik drejede sig om "forskning for profitten". De ville i stedet have en "kritisk" videnskab og en "forskning for folket". Videnskaben var for alvor kommet på den samfundsmæssige scene, som genstand for både ideologiske, filosofiske og politiske kontroverser.

Et godt eksempel på, at videnskabelige værdier slår rod og bliver almene, er de mange forsøg på at begrunde demokrati som styreform ud fra en række principper hentet fra videnskaben. Videnskaben gør fremskridt, fordi der er en åben og fordomsfri diskussion og dermed en diskussionskultur, hvor alle er ligestillede. I den forstand er videnskaben en demokratisk institution. Forskellen er selvfølgelig, at videnskabelige diskussioner tænkes afgjort via henvisning til fakta, data eller evidens, mens politiske diskussioner i et demokrati afgøres ved afstemning.

En væsentlig forestilling i mange videnskaber er at finde et optimum, dvs. et sted eller en tilstand, der er optimal, f.eks. i henseende til effektivitet. Dette var også en tankegang, man søgte at overføre til politikken. Hvis man kunne

Under Chiles kortvarige socialistiske revolution mellem 1970 og 1973 blev "Projekt Cybersyn" sat i værk for at skabe en computerkontrolleret planøkonomi. 500 fax-maskiner skulle sende fabriksdata fra alle fabrikker til en central computer, der ved hjælp af diverse kontrolparametre og et bayesiansk filter kunne udregne produktionsudsigter for den nærmeste fremtid. Hvis en bestemt produktionsforventning ikke blev indfriet, skulle højere niveauer alarmeres og diskutere situationen i kontrolrummet. Hovedarkitekten bag kontrolmekanismerne var den britiske kybernetiker Stafford Beer (1926-2002).



Den daglige morgenavis kunne fra 1920 og frem suppleres med radioen, der tillod en langt mere umiddelbar deltagelse i den offentlige nyhedsstrøm. Kurt Weinholt, der var med i bevægelsen *Neue Sachlichkeit* (ny saglighed), har malet denne *Mann mit Radio (Homo sapiens)* i 1929. Germanisches National Museum, Nürnberg.

finde sådanne sociale eller økonomiske optima, så ville man jo have en tilstand, der kunne anses for ideel. Så en måde at videnskabeliggøre politikken på ville være at udvikle metoder til analyse af samfundet, der muliggjorde, at man kunne frembringe optimale tilstænde. Man kunne sige, at samfundet skulle være

et system under videnskabelig og teknologisk kontrol. Det eneste, politikerne så skulle gøre, var at fastsætte nogle helt overordnede målsætninger. Ligesom man søgte en art ufilosofisk filosofi, søgte man også en art upolitisk politik på basis af en virkelig videnskabelig videnskab. Saglighed og effektivitet blev to centrale værdier.

Inden for området design så man også en væsentlig form for videnskabeliggørelse. Her var det især bevægelsen omkring skolen Bauhaus, der var normsættende. Fra midten af 1920'erne ønskede man at skabe nye ting og nye bygninger, der var designet ud fra videnskabelige principper. Man tog kontakt med forskere, og især med forskere der forsøgte at præcisere, hvad videnskabelighed egentlig var, og som dyrkede denne videnskabelighed som det bedste bud på, hvordan man kunne frembringe et rationelt samfund med mulighed for gode liv. Det var især de logiske positivister, der var i fokus. Efter en periode med et væld af historiske stilarter ønskede

mange arkitekter og kunsthåndværkere også inden for deres felt en “ny saglighed”.

Overflødig dekoration og manglende funktionalitet skulle udryddes, og bygninger og brugsgenstande skulle være baseret på en forståelse af de grundlæggende principper for deres funktion og for deres brug. Form skulle følge funktion, som allerede en af de tidlige pionerer inden for moderne arkitektur Louis Sullivan (1856-1924) havde sagt det, da han begyndte at designe de første skyskrabere i Chicago i slutningen af 1800-tallet. Da industrielt fremstillede brugsgenstande blev dominerende, måtte man vælge, om disse skulle være imitationer af tidligere håndværksfremstillede genstande, eller om man skulle finde en særlig formgivning, der passede til den nye form for produktion. Bauhaus var en af spydspidserne i bevægelsen for at finde en særlig industriel æstetik, der var videnskabeligt begrundet, fordi den sikrede funktionel optimalitet. Lamper skulle f.eks. være konstruerede på basis af forståelse af lys og lysopfattelse, samt den adfærd, der var i forbindelse med brugen af lys, f.eks. arbejdsaktiviteter eller læsning. Bauhaus var – på trods af at skolen hurtigt i 1930’erne blev lukket af nazisterne – utroligt indflydelsesrig, og inspirationen fra Bauhaus kom næsten til at være identisk med moderne design.

## Videnskaben forsøges forstået

Vi vil nu se på en række forsøg på at forstå, hvad fænomenet videnskab egentlig er. Vi har tidligere i kapitel seks og syv set, hvordan man kan tolke diskussionerne og uenighederne imellem Einstein (1879-1955) og Bohr (1885-1962) ud fra begreberne om ontologi og epistemologi. Ved vi noget om verden, eller ved vi noget om, hvad vi kan vide om verden? Radikaliteten i Bohrs tanker om, at fysik ikke handler om verden, men om hvad vi kan sige om den, er først rigtigt ved at gå op for os nu. Efterhånden som videnskaben, dens brug og dens konsekvenser blev mere og mere betydningsfulde, blev det mere og mere vigtigt at forsøge at forstå, hvad det egentlig var for noget, som forskning resulterede i. Ikke blot diskuterede man fortolkningen af resultaterne, men også formålet med det hele. Fysikerne Max Planck og Ernst Mach (1838-1916) var således uenige om atombegrebets status. Planck mente, at der faktisk fandtes atomer, Mach at det var et begreb, der var nyttigt, men ikke ”pegede” på noget virkeligt. Men de var også uenige om videnskabens mål i denne diskussion. Planck mente, at forskning var et

mål i sig selv, et godt gammelt aristotelisk synspunkt, mens Mach så forskning som et middel til et bedre samfund, til oplysning og til udvikling af mennesket. Planck fik både en nobelpris, en konstant opkaldt efter sig og i dag, efter Anden Verdenskrig, et helt tysk forskningsinstitutionssystem med sit navn. Mach fik også en konstant opkaldt efter sig – Mach 1, Mach 2 etc., som det kendes fra f.eks. flyvemaskiners hastighed – og også et videnskabeligt selskab: Ernst Mach Gesellschaft. Det blev rammen om de første professionelle videnskabsfilosoffers virke: de logiske positivister.

Op gennem tiderne har der ofte foregået et væsentligt samspil mellem filosofi og videnskabeligt arbejde. De to aktiviteter har ofte støttet hinanden og været anset for enten det samme eller som to sider af samme sag. Det typiske eksempel er Descartes' (1596-1650) indsats som filosof og som videnskabsmand. Men efterhånden som videnskaben bliver etableret og institutionaliseret, begynder man meget eksplisit at forsøge at redegøre for, hvad videnskab egentlig er, og hvad det er for en form for viden, den producerer. Kant (1724-1804) mente, at videnskabelig viden og filosofisk erkendelse er to helt forskellige ting. Ifølge ham skal filosofien redegøre for muligheden af empirisk videnskabelig viden og fungere som fundamentet for al anden viden.

Med grundlæggelsen af universiteterne sker der også en fokusering på forskellen mellem det akademiske og det videnskabelige. Wilhelm von Humboldt (1767-1835) fremhæves ofte som skaberne af det både forskende og undervisende universitet i Berlin i 1810. Ved dette universitet var det en væsentlig opgave for filosofferne at introducere akademiske og videnskabelige studier, at give en bestemmelse af, hvad det egentlig var, der gjorde viden videnskabelig.

Videnskaben, især naturvidenskaben, fik i løbet af 1800-tallet en næsten religiøs status i form af positivismen. Ifølge positivister eksisterer der grundlæggende ingen filosofiske problemer, fordi der for dem intet andet findes end positiv viden – og den findes i videnskaben. Der er således intet i filosofien, der kan fortælle, hvad viden eller videnskab er for noget. Videnskaben er en praksis, som i en vis forstand dokumenterer sig selv. Dette var mange filosoffer selvfølgelig helt uenige i. En væsentlig gruppe opstod i anden halvdel af 1800-tallet som et forsøg på at forny Kants filosofi, især under indtryk af den udvikling, der var sket inden for videnskaben i de næsten hundrede år, siden Kant selv tænkte. Disse neo-kantianere var opsatte på at forstå hvad slags viden, der fandtes, og hvordan den eller de former, der fandtes, skulle

begrundes som viden. For dem som kantianere var det jo strukturer knyttet til det menneskelige erkendende subjekt, der formede erkendelse og viden. Disse transcendentale forhold kunne ikke studeres af videnskaben, men blev anset som et område for filosofien.

I England havde folk som John Stuart Mill (1806-73), William Whewell (1794-1866) og William Stanley Jevons (1835-82) arbejdet med at lave teorier om videnskaben og skrive dens historie. Mill og Whewell var stærkt påvirkede af positivismen og forsøgte at udvikle en teori om videnskabelig viden baseret på et induktivistisk grundsynspunkt. Det vil sige, at ifølge dem arbejdede videnskaben ud fra generaliseringer af observationer, i hvilke der blev set mønstre eller strukturer. I slutningen af århundredet kom tilsvarende synspunkter frem i den tysktalende verden, f.eks. fra Ernst Mach. Der var således omkring år 1900 en stor mængde forskellige synspunkter på videnskab. Samtidig var videnskaben på højden af sin prestige – som nævnt i forrige kapitel mente den skotske fysiker Lord Kelvin (1824-1907) i en tale omkring år 1900, at stort set alle problemer inden for videnskaben reelt var løst. Man havde sejret! Men der skulle vise sig ganske afgørende ændringer i de videnskabelige teorier og forståelsen af dem som viden. Forskellige synspunkter fandtes ikke kun på empirisk videnskab, også omkring forståelsen af formelle videnskaber som f.eks. matematik var der helt afgørende forskelle. Matematikeren og filosoffen Gottlob Frege (1848-1925) havde i 1800-tallets sidste årtier startet en total nytænkning af, hvad matematik og logik egentlig var for discipliner, og hvordan de hang sammen med de øvrige. Det var en bestræbelse, der i 1900-tallet fik enorm betydning for forsøgene på at forstå videnskaben, og hvad det egentlig er for en slags viden, der produceres i de forskellige discipliner.

## Videnskabsfilosofi som ny disciplin

Ved hjælp af de nye værktøjer fra matematik og logik gik en række filosoffer til angreb på den dominerende neo-kantianske forestilling om menneskets videnssituation. Ifølge neo-kantianismen fandtes der en række forskellige empiriske videnskaber, hver med deres metode og genstand – og over disse svævede filosofien, der besad en særlig form for viden, der var fundamentet for de empiriske videnskaber. Filosofien fungerede altså som en art begrundelse og retfærdiggørelse for videnskaberne, både hvad angik natur- og

humanvidenskaberne. At konstituere metoder og genstandsområder og ikke bare foretage studier med disse, det var filosofiens opgave. Dermed var der også skabt en form for orden på det nu førende videnscenter inden for de industrialiserede samfund – universitetet. I en blanding af Humboldts forestilling om den rene forskning som vejen til dannelse og mere praktisk orienterede forestillinger om forskning som vejen til ny viden, der kunne danne basis for industri og erhverv, blev universitetet det sted, hvor størstedelen af samfundets forskning foregik. Naturvidenskab og ingeniørvidenskab fik en central plads på universiteterne i de mest udviklede industrilandene, og det moderne universitet udvikledes både i Tyskland og i USA, der i høj grad lod sig inspirere af den tyske udvikling. Efter den Fransk-tyske krig i 1870-71 udvikledes i det nye tyske kejserrige op imod Første Verdenskrig en effektiv forskningsorganisering, hvor man satsede på store universiteter og på store forskningsinstitutter i nationalt regi – de såkaldte Kaiser Wilhelm-institutter. De skulle bidrage til den industrielle og økonomiske udvikling. Forskerne skulle være en art ”åndens soldater” for det tyske kejserrige, som formanden for Berlins videnskabernes selskab skrev til den nykronede tyske kejser efter kroningen i spejlsalen i Versailles efter sejren over Frankrig i 1871.

Frankrig ønskede bestemt også under den kommende republik at styrke videnskabens udvikling og havde i en forfatter (og geograf) som Jules Verne (1828-1905) en fortaler for naturvidenskabens og teknikkens muligheder. Han så dog samtidig, at disse kræfter kunne være af både godgørende og dæmonisk art.

Efter ca. år 1900 var der kommet nye muligheder for forståelse af videnskabens karakter. Det drejede sig først og fremmest om to forhold. Det ene var knyttet til spørgsmålet, om der fandtes flere forskellige former for videnskab, eller om videnskaben dybest set var en enhed. Ifølge denne sidste overbevisning eksisterede der egentlig kun én videnskabelig metode og én genstand, som viden havde som objekt, selvom de forskellige videnskabelige discipliner fremstod meget forskellige. Det andet forhold var knyttet til den centrale antagelse i kantianismen, nemlig at afgørende træk ved vores erkendelse af verden i virkeligheden var givet af os selv. Tid og rum var ikke ”virkelige”, men snarere fremtrædelsesformer – dvs. afhængige af, hvordan noget måtte opleves af os som mennesker, hvis der overhovedet skulle være oplevelser. Mange var dog skeptiske over for kantianismen. De anså den for at bestå af en række metafysiske antagelser med langt dårligere fundering

end de videnskabelige teorier, som den skulle danne fundament for. Et eksempel kunne være teorier om rummet: Kant havde hævdet, at dette som en logisk nødvendighed måtte være euklidisk. Formentlig fordi han også antog, at der kun fandtes én form for geometri, der kunne beskrive rummet, nemlig den euklidiske. I løbet af 1800-tallet fremkom en række ikke-euklidiske geometrier, hvorfor det blev uklart, hvad rummet egentlig var (se s. 163). At det helt lokalt var euklidisk, var klart nok, men hvad med det store, uendelige rum? Og hvordan var forholdet mellem rum og tid? Kant havde beskrevet disse som to forskellige anskuelsesformer, der havde deres rod i menneskets erkendeapparat. Klassisk fysik var begrundet i en opfattelse af, at rummet var euklidisk, og at tid og rum var separate. Fremkomsten af Einsteins relativitetsteorier fra 1905 satte afgørende spørgsmål ved disse forhold, for disse teorier, der havde god empirisk fundering, viste på sin vis, at tid og rum ikke var adskilte, og at rummet ikke – i hvert fald ikke nødvendigvis – var euklidisk. Og Einsteins argumenter og teorier forekom ikke at være begrundet transcendentalt, men i empiriske forhold og i nogle få simple antagelser, der muliggjorde kraftfulde tankeeksperimenter. Den vigtigste antagelse var selvfølgelig, at lysets hastighed var konstant og den størst mulige. Hvis der var mange mulige geometrier, og ikke som både David Hume (1711-76) og Kant havde antaget kun én, hvilken var da den, der beskrev rummet? Det forekom, at man måtte sondre mellem på den ene side rent formelle systemer og på den anden side empiriske spørgsmål, såsom hvilken geometri rummet har. Løsningen af de formelle problemer måtte høre ind under de formelle discipliner, mens de empiriske spørgsmål var noget, som alene kunne afgøres via observationer. Transcendentale deduktioner a la Kants forekom alene at være metafysiske spekulationer, der førte til forkerte konklusioner.

De to verdenskrige i 1900-tallet var begge “videnskabelige” krige. Første Verdenskrig er ofte blevet beskrevet som den første helt industrialiserede krig. Soldater var blot “kanonføde”, kanonerne var det afgørende. De var resultatet af kemisk og fysisk forskning. Det samme var nervegas, tanks, fly, maskingeværer, tog, biler og motorer. Man har talt om, at det var den nye, naturvidenskabsfunderede samfundsform, der var i konflikt med sig selv – imperialistiske og delvist feudale samfund, der indeholdt voldsomme modsætninger og interessekonflikter. Anden Verdenskrig var anderledes. Her var forskellige samfundssystemer i konflikt med hinanden – først og fremmest



Dette fotografi fra 1918 viser det indvendige af et transportabelt camera obscura, som blev brugt til fly- og bombeøvelser i Første Verdenskrig. Et camera obscura bruger en optisk effekt, der gør, at lys, som går gennem et lille hul i en mørk kasse, kaster en projktion på den modsatte side af kassen. Når projektionen af et billede – i dette tilfælde af flyet – bevæger sig hen over bordet, kan dets hastighed måles med et metronom, der kan ses på hylden til venstre. Bright Bytes Studio.

med Hitlers nazistiske Tyskland. Samtidig spillede nye former for videnskab en helt afgørende rolle. Den endelige sejr blev slået fast med brugen af atomvåben, der var udviklet ud fra den nye fysik. Her var tale om en helt anden forståelse af fysik end den, der havde båret udviklingen af Første Verdenskrigs våben. Faktisk dokumenterede atombomben falskhe-

den i alliancen mellem Newtons (1643-1727) fysik og dens transcendentale nødvendighed som eneste fysik.

Samtidig blev der under Anden Verdenskrig udviklet helt nye former for teknologi, baseret på andet end fysik og kemi. Radaren var opfundet og blev udviklet – den er for så vidt ren fysik. Men dens brug blev baseret på nye styringsprincipper og nye måder at tænke om komplekse systemer. Computeren blev opfundet og udviklet, og den blev anvendt til brydning af koder, hvilket var helt afgørende for en lang række sejre. Anden Verdenskrig blev

basis for informationsteknologien, for udvikling af systemteori og for nye måder at organisere og drive forskning på. Radar-udviklingen og udviklingen af atombomben foregik som store projekter med mange tusinde forskere. Der blev lavet helt nye forskningsinstitutioner, og forskere fra logik og matematik fik helt afgørende roller ved siden af de mere ingeniørorienterede discipliner fra fysik og kemi. Efter Anden Verdenskrig blev de store Kaiser Wilhelm-forskningsinstitutter, hvoraf Einstein en overgang ledede et, omdøbt til Max Planck-institutter.

I mellemkrigstiden skete der en række afgørende udviklinger i videnskabsforståelsen. Der var tre typer reaktioner på de videnskabelige revolutioner, man var midt i, og de åbenlyse mangler, som den ”etablerede” filosofi havde. Den ene reaktion var den logiske positivisme, der så at sige gjorde videnskaben til det nye altforklarende fænomen, altså en slags en ny religion. Den anden var den holdning, at videnskabelig viden kun er én måde at forholde sig til verden på – og måske ikke den mest egentlige eller den, der giver bedst indsigt i virkeligheden, på trods af videnskabens empiriske udgangspunkt. Filosofferne Edmund Husserl (1859-1938), Martin Heidegger (1889-1976) og Ernst Cassirer (1874-1945) er alle eksempler på denne reaktion. Den tredje reaktion bestod i, at man med videnskabelige metoder forsøgte at forstå den rolle, viden har i samfundet, og især at forstå den videnskabelige videns karakter og funktion. Det var videnssociologiens fremkomst og senere videnskabssociologiens. Væsentlige navne er her Max Scheler (1874-1928), Karl Mannheim (1893-1947), Talcott Parsons (1902-79) og Robert K. Merton (1910-2003).

Den logiske positivisme udviklede sig i løbet af 1920’erne, først og fremmest i Wien. Den kaldes ofte også Wiener-kredsens, men bar formelt navnet Verein Ernst Mach efter fysikeren og filosoffen (og anti-metafysikeren) Ernst Mach. Selvom der var ganske mange kredse aktive i Wien i 1920’erne, blev den måske den mest indflydelsesrige. I 1929 publicerede den et manifest – som det var kutyme på det tidspunkt – hvor den fremlagde sin videnskabelige verdensanskuelse. At være videnskabelig betød først og fremmest at være imod enhver form for metafysik. Kun viden, der var baseret på offentligt testet erfaring, kunne være viden. Metafysiske påstande var ikke falske, de var blot meningsløse. Meningsfulde udsagn kunne derimod være enten sande eller falske, og det var videnskabens opgave at anvende metoder, der kunne sikre, at man kunne skelne mellem de to. De logiske

positivister havde således en sprogteori, der sagde, at et udsagns mening var knyttet til dets sandhedsbetingelser. Kun hvis det var muligt at verificere eller falsificere et udsagn, var det meningsfuldt. De former for udsagn, der tydeligst levede op til dette krav, var udsagn om kendsgerninger og logiske og matematiske udsagn. Udsagn om Guds eksistens, livets mening, hvad der var værdifuldt eller retfærdigt, var udsagn, som enten var netop meningsløse, eller i hvert fald havde en kompliceret relation til sandhedsbetingelser. Videnskaben var for de logiske positivister baseret på en metode, hvor man i stigende omfang søgte at gøre to ting: at verificere sine udsagn, så man kunne være sikker på, at man besad viden, og at systematisere disse udsagn, så man fik dem organiseret i logiske helheder, der hang sammen og kunne

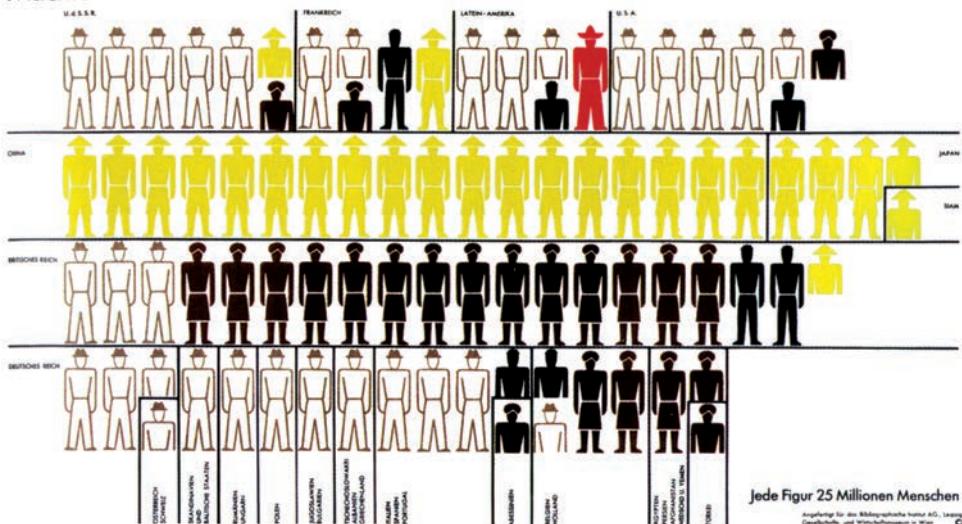
bruges til at forklare med – dvs. udvikle teorier.

Teorier var baseret på observationer og organiserede disse i meningsfulde helheder. Videnskabens videnskabelighed var ikke knyttet til en eller flere bestemte fremgangsmåder til indsamling af data, men til det forhold, at hvis en påstand blev fremsat, da var det muligt at afgøre dens sandhed eller falskhed på basis af data og observation.

Videnskaben var først og fremmest empirisk,

Den østrigske videnskabsfilosof Otto Neurath (1882-1945) var en vigtig figur inden for Wiener-kredsen. Han udviklede bl.a. nogle pictogrammer, kaldet ISOTYPE, som skulle kommunikere information til folket i et simpelt og let forståeligt symbolsprog. Stærkt påvirket af den logiske positivisme ville Neurath formidle kvantitativ information om socialt vigtige temaer såsom produktion, økonomi og befolkningssammensætning i et konceptuelt format, der ikke havde brug for yderligere forklaring.

## Mächte der Erde



og så var den logisk organiseret. Som en organiseret helhed kunne viden-skaben opfattes som en enhed, der leverede al den viden i verden, der var at leve. Alt andet var meningsløshed eller overtro. I 1930'erne begyndte de logiske positivister i Wien at brede sig og skabe en art bevægelse. Der blev oprettet en "afdeling" i Berlin og holdt kongresser, ligesom Wien og Berlin i fællesskab udgav tidsskriftet *Erkenntnis*. Bevægelsen bestod af filosoffer, logikere, matematikere og en lang række videnskabsmænd. Flere sluttede sig til, idet de opfattede den logiske positivisme som en formulering af netop den rationelle verdensanskuelse, som videnskaben var baseret på. Den logiske positivisme forekom progressiv, idet den var kritisk over for synspunkter, der ikke havde basis i kendsgerninger, og som derfor kunne være rent ideologiske eller politiske. Og samtiden manglede ikke ligefrem den slags – 1920'erne og 30'erne var allerede præget af de store ideologier, ideologier der ofte optrådte under dække af videnskabelighed.

## Hvad står øverst – fysik eller metafysik?

I 1929 udgav den tyske filosof Martin Heidegger sin tiltrædelsesforelæsning som professor ved universitetet i Freiburg, hvor han afløste Edmund Husserl. Den havde titlen "Hvad er metafysik?" og blev af de logiske positivister set som et rigtig godt eksempel på filosofi som en samling meningsløse udsagn. Heidegger var selvfølgelig af en helt anden mening. Han angreb i sin forelæsning den samlede videnskabelighed ved universitetet for reelt ikke at leve egentlig viden. De enkelte discipliner gav hver for sig indsigt og billede af dele af verden, men ingen af dem gav egentlig indsigt i, hvad det ville sige at eksistere som menneske. Det var noget, alene en filosofisk åbenhed for verden kunne leve. Der var ikke brug for observationer eller eksperimenter, men snarere en sammenhængende forståelse. Og kun på basis af denne ville det være muligt at se de enkelte videnskabelige discipliner som meningsfulde. Filosofien var ikke en overordnet erkendelsesteori – som for neo-kantianerne – men derimod en afsløring af de egentlige eksistens-forhold. Specielt anså Heidegger videnskaben som knyttet til en fundamental opdeling af verden i et subjekt (den erkendende person) og en række objekter (det, der erkendtes noget om). For ham var denne opdeling ikke oprindelig, og den måtte overvinDES, hvis man skulle opnå egentlig indsigt. I omgangen med andre mennesker og med ting var menneske, handling

og ting en sammenhængende enhed. Det var først med den videnskabelige attitude, at der skete en spaltning. Det var også først med denne spaltning, at man kunne formulere synspunkter om mening og sandhed som dem, de logiske positivister fremførte.

Edmund Husserl havde i sin fænomenologi også forsøgt at overvinde spaltningen mellem subjekt og objekt, men han havde gjort det ved at søge at udvikle en form for filosoferen, der, fordi den var systematisk og ”strenge”, var i stand til at levere viden, der var ligeså sikker som den, videnskaben leverede – måske var den endda forudsætning for den videnskabelige viden. I 1936 udgav Husserl sin sidste bog, *Den europæiske videnskabs krise og den transcedentale fænomenologi*. Her skrev han om det forhold, at videnskaben som et oplysningsprojekt ikke havde indfriet verdens forventninger, idet den ikke havde skabt muligheden for gode meningsfulde liv, bl.a. fordi videnskaben havde leveret en abstraktion, som blev taget for virkeligheden, mens det virkelige for mennesket var dets umiddelbare livsverden. Videnskaben havde ikke kunnet bygge bro mellem disse to verdener.

Neo-kantianeren Ernst Cassirer arbejdede i samme periode med at forsøge at forlige de nye udviklinger i naturvidenskaben med et kantiansk grundsynspunkt og fremførte den tanke, at der forud for det videnskabelige lå noget mere fundamentalt, ”det symbolske”, som kunne vise sig som videnskab, men også som myte, religion eller kunst. Disse symbolske former måtte studeres i deres udvikling og deres tilknytning til fundamentale træk ved den menneskelige eksistens måtte klarlægges. Den østrigsk-amerikanske filosof og bankmand Alfred Schütz (1899-1959) fremlagde i 1932 en teori om det sociale, ifølge hvilken det var resultatet af interaktion mellem mennesker, der konstruerede fælles mening. Schütz forsøgte at leve et bud på en opfattelse af, hvad slags viden, vi egentlig har, når vi ved noget om sociale relationer. Det fik senere betydning for forsøg på at forstå videnskab som en social aktivitet.

De første videnskabelige sociologer, Emile Durkheim (1858-1917), Max Weber (1864-1920) og Georg Simmel (1858-1918), forsøgte at forstå og forklare de mange verdensanskuelser, der fandtes, og som viste sig så tydeligt f.eks. i de forskellige religioner. For deres umiddelbare efterfølgere blev det også klart, hvilken central rolle viden spiller for det sociale. Menskeset handler ikke først og fremmest instinktivt, men oftest på basis af sine overbevisninger, sine opfattelser af hvordan verden er indrettet. Forskellige

kulturer og samfund har helt forskellige opfattelser af denne indretning. For forskere som Max Scheler, Karl Mannheim og Alfred Schütz var det klart, at mennesket organiserede viden, og at der var en klar sammenhæng mellem sociale strukturer og den måde, viden blev organiseret på. Mannheim var således optaget af den rolle, som ”frie intellektuelle” har i et moderne samfund, og sociologien begyndte at beskæftige sig med den rolle, som videnskaben har i samfundet som en faktor, der leverer ikke kun viden, men også verdensopfattelse.

Den første egentlige videnskabssociolog var dog amerikaneren Robert K. Merton, der startede med at undersøge sammenhængen mellem den engelske puritanisme i 1600-tallet og fremkomsten af den moderne naturvidenskab og dens institutioner. Under Anden Verdenskrig formulerede han som en af de første en slags etiske grundregler for videnskaben, under indtryk af nazismens (mis)brug af videnskab og videnskabelighed. For Merton var videnskaben en social institution, hvis funktionalitet var knyttet til bestemte normer, som institutionen igen søgte at opretholde. Disse normer var ”kommunisme” (at viden var noget, menneskeheden ejede i fællesskab), ”universalisme” (at viden og videnspåstande skulle kunne efterprøves universalistisk, dvs. ikke var afhængige af bestemte kulturelle, religiøse eller politiske udgangspunkter), ”demokrati” (at adgangen til at fremsætte videnspåstande og at få dem taget alvorligt alene beroede på påstandene selv, og ikke på hvem der fremsatte dem), og endelig ”organiseret skepticisme” (at det videnskabelige samfund ikke accepterede noget som viden, før det havde været igennem en kritisk efterprøvning, f.eks. ved at blive udsat for vurdering af ”peers” og derpå lagt offentligt frem i tidsskrifter for at kunne blive læst og diskuteret.) Denne norm var central for, at man kunne have tillid til det videnskabelige system og kunne lade forskellige former for ekspertise base sig på videnskabelig viden. For Merton var videnskaben således et godt eksempel på et socialt system, der havde udviklet hensigtsmæssige strukturer og funktionaliteter og kunne opretholde disse. Som sådan så Merton videnskaben som en væsentlig institution i et demokratisk samfund.

Efter afslutningen af Anden Verdenskrig var videnskabens stilling i samfundet ændret. Under krigen havde der i de store krigsførende lande dannet sig nye organisationer, der skulle sikre nyttiggørelsen af videnskabelige resultater og frembringe nye, der var umiddelbart brugbare i krigsførelsen. I USA var der blevet dannet flere regeringsorganer, som skulle stå

for forskning i krigsojemed. Det var faktisk først med Anden Verdenskrig, at forskning blev noget, den amerikanske regering for alvor tog alvorligt og beskæftigede sig intenst med. Tidligere havde forskningen været drevet ved de private forskningsintensive universiteter og i regi af de store private forskningsfonde som f.eks. Rockefeller og Carnegie-fondene.

To personer spilledede en afgørende rolle i organiseringen af forskningen i USA under Anden Verdenskrig: Vannevar Bush (1890-1974) og James B. Conant (1893-1978). Bush, der var ingeniør og beskæftigede sig med analoge computere, kom til at stå for ledelsen af de store projekter omkring atombomben og radaren. Conant havde allerede under Første Verdenskrig været involveret i krigsrelateret forskning som kemiker. Ved slutningen af krigen udarbejdede Bush en rapport til den amerikanske præsident om videnskabens og forskningens fremtidige stilling og organisering. Titlen på rapporten er sigeende: "Science – the endless frontier". Hans mål var, at den indsats, der havde været så nyttig og afgørende under krigen, skulle videreføres, men nu under fredens vilkår og til gavn for samfundet som helhed. Bush ønskede en uafhængig forskningsorganisation, under minimal politisk kontrol, og især fri for påvirkning fra militæret. Han frygtede, at militære hensyn også i fredstid blev afgørende. Han ønskede at opdele forskningen i to former: den basale, der var teoretisk orienteret og som hovedsageligt skulle levere ny viden, og så anvendt forskning, der var mere rettet imod løsning af praktiske problemer. Bush så udviklingen af forskning og videnskab som helt central for samfunnets økonomiske sundhed og var især bange for, at en for stor fokus på militær forskning skulle skade økonomien. Han var også centralt placeret i at etablere samspil og relationer mellem forskning og det videnstunge erhvervsliv.

James Conant havde været rektor for USA's førende universitet, Harvard, og efter krigen arbejdede han bevidst på at reformere amerikansk uddannelse. Han ønskede, at videnskaben skulle indtage en central placering og mente bl.a., at det var vigtigt, at studerende tidligt i deres studier blev indført i dens historie og tænkemåde. Fysikeren Alvin Weinberg (1915-2006), der var leder af et af verdens største forskningscentre, Oak Ridge National Laboratory, hvor en væsentlig del af udviklingen af atombomben var foregået – karakteriserede i 1961 den nye type forskning, som Anden Verdenskrig havde givet anledning til, som "big science". Weinberg så for sig en helt ny type økonomi, hvor videnskab drevet i storskala var helt afgørende, og hvor der var en tæt sammenhæng mellem industri, forskning og regering. Dette var ensbety-

Her ses det indre af en partikelaccelerator fra Lawrence Radiation Laboratory i 1957.



dende med en grundlæggende forandring af videnskaben: fra et være et sæt af individuelle erkendelsesprojekter blev det til et sæt af store forskningsprojekter, hver med hundreder eller tusinder af forskere som deltagere, organiseret nærmest efter industrielle stordriftsprincipper og ledet efter de mest avancerede projektledelsesprincipper. Wilhelm von Humboldts ensomme forsker, der står over for det ukendte, var langt væk. Big science var big business.

Efter Anden Verdenskrigs slutning fik Europa væsentlig økonomisk hjælp af USA, og man oprettede OEEC (Organization for European Economic Cooperation), der senere i 1961 blev til OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). Denne organisation publicerede i 1971 en indflydelsesrig rapport om videnskabens rolle i samfundet: "Science, Growth and Society". Heri blev det hævdet, at den centrale faktor i økonomisk udvikling var forskning og videnskab. Hvis økonomisk vækst var målet, så var midlet forskning. De følgende årtiers udvikling omkring vidensområder som IT og bioteknologi syntes at bekræfte denne tese. Det højindustrielle samfund blev for mange afløst af et videnssamfund baseret på højteknologi, dvs. teknologi, hvori computere og information spiller en central rolle – sådan som det er tilfældet i dag inden for næsten alle former for teknologi.

## Falsifikation og paradigmer

Den filosofiske og sociologiske opfattelse af videnskaben i perioden efter Anden Verdenskrig var præget af den logiske positivisme og af den funktionalistiske videnskabssociologi, der var udgået fra Merton. Men hurtigt opstod der nye synspunkter og synsvinkler.

I 1934 havde en østrigsk filosof, Karl Popper, udgivet en bog om forskningens logik, som i midten af 1950 udkom på engelsk i revideret og udvidet form med titlen *The Logic of Scientific Discovery*. Denne bog indeholdt et

fundamentalt angreb på helt afgørende træk ved den logisk positivistiske forståelse af videnskaben. Den form for induktivisme, som positivisterne fremførte, mente Popper ikke var holdbar. Deres opfattelse af, at teorier var baseret på observationer og data, holdt heller ikke, og de havde en helt forkert forståelse af, hvordan det forholdt sig med teoriers og hypotesers status, ligesom deres forståelse af selve videnskabens udvikling var fejlagtig. For Popper var det åbenlyst, at der kun fandtes én form for gyldige slutninger, og det var deduktioner. Den teori om logisk gyldighed, som den matematiske logik havde taget for selvfølgelig, siden den blev fremført at logikeren Alfred Tarski (1902-83) i 1936, anså Popper for at være ubetvivlelig. Ifølge Tarski bestod logisk gyldighed i at sikre, at man fra noget sandt aldrig sluttede noget falskt. Logisk gyldighed var sandhedsbevaring. Men i induktive slutninger kunne man i principippet slutte fra en mængde sande udsagn til et falskt, og dermed var induktive slutninger ikke logisk gyldige. Umiddelbart skulle man derfor tro, at Popper alene anså de deduktive videnskaber, såsom logik og matematik, for videnskaber. Men nej. Han var interesseret i at skabe et klart skel mellem de empiriske videnskaber, der var egentlige videnskaber, og så alle mulige teorier, som hævdede at have empirisk indhold, men som – ifølge Popper – ikke havde det. En teori eller hypotese var alene videnskabelig, hvis det var muligt at finde evidens, *der kunne falsificere den*. Ikke at den faktisk blev falsificeret, for hvis den var sand, ville det netop ikke ske. Men man skulle kunne beskrive de omstændigheder, hvorunder den ville blive falsificeret. Den skulle med andre ord være af en sådan art, at den – hvis den var forkert – kunne modbevises.

På den måde var videnskaben for Popper en serie fremsætninger af dristige hypoteser og forsøg på at falsificere disse. De hypoteser, der kunne modstå selv de bedste forsøg på falsificering, var dem, der så at sige udgjorde vores videnskabelige viden. Men om de ville være i stand til at modstå falsificering også i fremtiden, var umuligt at sige. At fordi de havde modstået falsificering indtil nu, så ville de også gøre det i fremtiden – det var en ugyldig slutning. Hypoteser og teorier kunne heller ikke basere sig på observation og data, sådan som de logiske positivister hævdede, for det forudsatte for Popper, at de var afledt via en særlig slutningsform – induktion – som han mente ikke kunne være logisk gyldig. For Popper, og for de samtidige logikere, fandtes der kun én gyldig slutningsform, deduktionen (se evt. figur s. 171).

Hypoteser og teorier måtte derfor være forsøg på at fremsætte løsnin-

ger på videnskabelige problemer, som skulle vise deres duelighed ved deres evne til at forklare og forudsige, og som skulle kunne overleve selvstændige og uafhængige tests. En test kunne f.eks. være en situation, hvor man forudsagde en bestemt begivenhed ud fra en hypotese og nogle observationer og så fandt, at forudsigelsen ikke holdt stik. Deraf kunne man slutte, at hypotesen var forkert. På den måde skred videnskaben frem. Den var en kritisk og rationel aktivitet, der baserede sig på logisk tænkning og dristig og fantasirig fremsættelse af hypoteser, der blev utsat for så kraftige tests som muligt. Popper kaldte sit standpunkt for kritisk rationalisme. For ham var et højdepunkt de tests, der blev foretaget af Newtons og Einsteins teorier om rummet ved solformørkelsen i 1919, hvor Einsteins forudsigelse af planeten Merkurs position viste sig rigtig, og den newtonsk beregnede position var forkert. Newton blev falsificeret, Einstein overlevede testen, men blev selv-følgelig ikke verificeret.

I 1950'ernes USA underviste en ung videnskabshistoriker på det program, der introducerede studerende til videnskabens historie og videnskabelig tænkning. Hans navn var Thomas Kuhn (1922-96). Han arbejdede med at udvikle undervisningsmateriale og cases og var interesseret i videnskabelig forandring. Han publicerede i 1958 en bog om den kopernikanske revolution inden for astronomien og fire år senere en mere generel fremstilling af videnskaben og dens måde at fungere på: *Videnskabens revolutioner*. Det blev en af 1900-tallets mest indflydelsesrige bøger. Den blev publiceret i en serie af bøger, der skulle understøtte tesen om videnskabens enhed. Mange logiske positivister anså den for en god og korrekt beskrivelse af videnskabelig aktivitet, og af hvordan den udvikler sig. Men for mange andre tegnede bogen et helt nyt billede af videnskaben, der ikke længere fremstod som den superrationelle aktivitet, som den hidtil var blevet anset som. For Kuhn foregik forskning inden for rammerne af noget, han kaldte paradigmer. Disse var bestemte grundlæggende antagelser af teoretisk art, visse måder at repræsentere viden på og visse procedurer og kategorier, der etablerede, hvad der var acceptabelt som viden. Inden for et sådant paradigme var forskning det samme som at løse problemer, der kunne formuleres netop i paradigmets termer og med dets procedurer. Kuhn sammenlignede forskning med det at lægge et puslespil. Brikkerne, der tilsammen giver det store billede, er givne på forhånd – det drejer sig blot om at få lagt dem rigtigt. Forskerne blev socialiseret ind i et paradigme, og det var afgørende

for Kuhn, at de aldrig forholdt sig til selve paradigmet. Det er faktisk også umuligt ifølge Kuhn, da det udgør en art tavs forudsætning. Det er også umuligt at diskutere paradigmer, for de er principielt usammenlignelige. De begreber, forskerne anvender, har nemlig kun deres mening inden for rammerne af paradigmet. Der er således ikke oversættelighed fra et paradigm til et andet.

Ikke desto mindre skifter paradigmer. Det er, når der finder en “videnskabelig revolution” sted. Men det sker ikke på basis af kritisk diskussion og nye tests osv., at man opgiver et paradigm til fordel for et andet. For hvis man skulle foretage sig sådan noget, måtte man netop kunne sammenligne de to paradigmer. Nej, for Kuhn uddør et paradigm simpelthen, og et andet tager dets plads som en art social proces, der ikke har nogen rationalitet. Det er umuligt at sige, om det nye paradigm er et fremskridt i forhold til det forrige – igen ville det jo forudsætte, at man kunne sammenligne de to. Der sker en videnskabelig ændring, men den er ikke en del af videnskaben selv i samme forstand, som den løbende problemløsning inden for rammerne af et paradigm er det. Et paradigm kan komme i krise, der kan opstå flere og flere anomalier, flere og flere situationer, hvor man må ty til undtagelser eller helt unaturlige ændringer af teorier for at få tingene til at passe. Men for Kuhn er der ingen grænse for, hvad man kan lave af modifikationer af sine teorier eller acceptere af undtagelser for at bevare paradigmet. Videnskaben er så at sige en paradigmbevarende aktivitet. Når paradigmet skifter – sådan som det f.eks. gjorde med den kopernikanske revolution – skyldes det helt andre kræfter end de videnskabsinterne, f.eks. sociale, kulturelle eller politiske.

Kuhns bog udkom i 1962. I 1968 gik studenteroprøret i gang rundt omkring i Europa. Der krævedes politiske og forskningspolitiske ændringer. Det blev ikke Popper, der opnåede ikonstatus for studenteroprørerne, men snarere Kuhn. Studenteroprøret var først og fremmest nymarxistisk orienteret. Det var en kamp for befrielse og imod undertrykkelse. Dele af videnskaben blev set som et element i, og under alle omstændigheder et instrument for, undertrykkelsen. Den tyske sociolog og filosof Jürgen Habermas (f. 1929) karakteriserede naturvidenskaben som knyttet til en rent instrumentel erkendelsesinteresse. Det betød, at hvis ikke den blev koblet med eksplisitte frigørelsес-bestræbelser, ville den virke ideologisk og dermed undertrykkende. Med “ideologisk” mente Habermas, at den kunne legitimere tiltag, der på overfladen var i de undertryktes interesse, men som i virkeligheden

var et magtmiddel imod dem. Den havde en art illusionsskabende virkning, især gennem sin karakter af objektivitet og værdifrihed.

Den nymarxistiske kritik af videnskaben fik dog hurtigt følgeskab af en postmoderne holdning til videnskaben, der hævdede, at der fandtes mange former for viden, og at videnskaben ikke havde nogen særstatus som den rationelle eller objektive måde at sikre sig viden på. Viden baserede sig på *videnspåstande*, og disses accept eller forkastelse var resultatet af sociale processer. Her kunne Kuhn komme ind – i hvert fald i en særlig fortolkning. Hvor han havde et ekstremt internt syn på videnskaben – alt sker inden for et paradigme – var det postmoderne synspunkt snarere knyttet til muligheden, ja måske endda realiteten af en flerhed af paradigmer. Hvis der, som Kuhn havde hævdet, ikke var reel mulighed for at hævde, at det ene paradigme var bedre end det andet, så var videnspåstande afhængige af et bestemt paradigme, og valget af paradigme ikke et rationelt eller objektivt, endsige værdifrit valg.

## Socialkonstruktivisme

Samtidig med at Kuhn begyndte at blive fortolket på postmoderne vis, skete der væsentlige udviklinger inden for det videnskabelige studium af videnskaben som menneskelig og social aktivitet. Hvor den hidtidige videnskabssociologi og forskningspolitiske forskning havde haft et ydre blik på videnskaben, kom der nu flere og flere bud på tilgange, der ville se, ikke på videnskaben som en “black box”, men åbne den op og se på, hvad der foregik indeni, hvordan de videnskabelige teorier og kendsgerninger blev produceret. Laboratoriet blev opfattet som en art fremmed kultur, der skulle studeres og afkodes. Det fik også betydning for den måde, man bedrev videnskabshistorie på. Her havde man hidtil fortalt den store historie om videnskabens fremskridt, om generne, om de store opdagelser. Darwin, Planck, Einstein, Bohr var store opdagelsesrejsende, videnskabernes Columbus'er, Vasco da Gama'er osv., der førte os ind i ukendt land. Videnskabens historie var disse opdagelseres historie. Nu begyndte man at interessere sig for de teorier, man havde forkastet, og for de kontroverser, man havde haft. Da Kuhn havde sat alle paradigmer lige, kunne videnskabshistorien ikke kun være “sejrherrernes historie”. Selv Popper argumenterede jo for, at en teori, der i øjeblikket var accepteret, i morgen kunne vise sig at være forkert. Hvis

ikke den mulighed forelå, var den ifølge ham ikke engang videnskabelig. Så videnskaben som historie og fortælling og videnskab som social institution kunne ikke beskrives ud fra, hvad der på et bestemt tidspunkt blev anset for de korrekte teorier. Hvad der i dag fandtes inden for ét paradigme, kunne i morgen være erstattet af teorier, der udfoldede sig i et helt andet paradigme. Og det nye skulle også gerne stadig være videnskab, ellers ville videnskabelighed være knyttet til ét bestemt paradigme. Teorier, der for øjeblikket blev anset for falske, og teorier, der for øjeblikket blev anset for sande, måtte forklares som videnspåstande, der blev hævdet på samme måde. For de, der hævdede de falske, troede selvfølgelig, at de var sande – det var selvsagt grunden til, at de hævdede dem som viden. Samtidig kunne man ikke vide, om de teorier og kendsgerninger, der for øjeblikket blev anset for sande, rent faktisk var sande, for de kunne enten blive falsificerede, eller der kunne ske en videnskabelig revolution, og et nyt paradigme ville introducere helt andre begreber, teorier og kendsgerninger. På rigtige mange måder kunne det se ud som om, at videnskabelige teorier og kendsgerninger ikke udelukkende baserede sig på de foreliggende data.

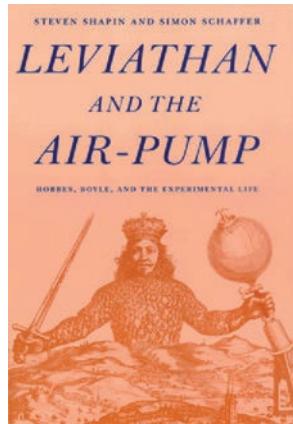
Faktisk var der gode logiske grunde til at mene, at et givet data-grundlag altid kunne forklares af uendeligt mange forskellige teorier. Det var kendt som “Duhem-Quine-tesen om under-determinering”. Den franske videnskabshistoriker Pierre Duhem (1861-1916) havde fremsat den allerede omkring år 1900, og den var logisk blevet “bevist” af den amerikanske logiker og filosof Willard van Orman Quine (1908-2000). Der måtte altså være andet end data, der spillede ind. Den engelske sociolog Harry Collins (f. 1943) mente sågar empirisk at kunne vise, at i de tilfælde, hvor der var videnskabelig strid, blev denne strid aldrig afgjort endeligt ved henvisning til data eller empiri. Forestillingen om afgørende eksperimenter eller data var for ham at se en illusion. En dejlig teoretisk ide, men desværre reelt en myte. Der var endda også gode grunde til at mene, at man altid ville kunne bortforklare falsifikationer fremkommet gennem nye data eller ny empiri. Det var selvfølgelig et afgørende problem for Poppers opfattelse, men noget, der nemt kunne assimileres i Kuhns teori om videnskab. For der var for ham ikke absolutte måder, hvorpå man kunne aflyve et paradigme. Man kunne leve med anomaliteter, undtagelser, bortforklaringer, småændringer osv. Hvornår krisen for et paradigme var så stor, at der skete et skift, kunne man ikke give regler for. Det skete sådan set bare, måske først og fremmest

som følge af, at et paradigmes forsværere helt konkret uddøde.

Et indflydelsesrigt casestudie drejede sig om kontroversen mellem filosoffen Thomas Hobbes (1588-1679) og eksperimentalisten Robert Boyle (1627-91) i midten af 1600-tallet. Boyle havde lavet en lang række eksperimentelle studier af luftarter med en luftpumpe, der dengang var et avanceret instrument. Især havde han studeret fænomener omkring det lufttomme rum. Hobbes hævdede, at sådanne eksperimenter ikke kunne danne basis for videnspåstande, det kunne ifølge ham kun logiske ræsonnementer. Eksperimenter gav kun subjektive erfaringer og kunne kun have betydning for de tilstedeværende. Gentagelse var reelt umulig, da der altid kunne være relevante forhold, der var anderledes. Og hvad der var relevant og ikke relevant, kunne kun afgøres ved at antage en teoris sandhed. Men eksperimentet blev netop udført for at begrunde denne sandhed. Altså en cirkelslutning. Hobbes tabte imidlertid denne akademiske duel. Boyle blev en af grundlæggerne af den moderne eksperimentelt baserede naturvidenskab, og Hobbes fik ingen stor status som videnskabsfilosof, endslige som videnskabsmand. Boyle sikrede endda, at han end ikke blev medlem af det prestigiøse videnskabelige samfund “The Royal Society”.

For en videnskabssociolog er sagen interessant, fordi den kan tolkes som en udøvelse af magt. Boyle har magten, retorikken, overtaleslen, det bedre samfund på sin side. Hobbes har muligvis logikken på sin, men han bliver udgrænset som en tør begrebs- og logik-fikseret Erasmus Montanus, der hører fortiden til, mens Boyle og hans med-gentlemen i Royal Society har kendsgerningerne og evidensen på deres side. Det er, som om Boyle siger: “Kom an, og jeg vil vise jer, hvordan tingene hænger sammen. Giv mig et laboratorium, og jeg vil med mine eksperimenter lade naturen afsløre sine undere. Kendsgerninger er noget, vi opdager!”

Ifølge de videnskabssociologer, der var inspireret af Kuhn, var det netop den illusion, som videnskaben var bygget på. Videnskaben fremsatte påstande af formen: “Det er en kendsgerning at ...”, men sådanne påstande var



Striden mellem Hobbes og Boyle fik en indflydelsesrig fortolkning i denne bog af Steven Shapin (f. 1943) og Simon Schaffer (f. 1955), hvor forfatterne viser, hvordan videnskabelige kodeord som ”fakta”, ”fortolkning”, ”eksperiment” og ”sandhed” skabte en ny politisk orden, og hvordan den videnskabelige praksis ofte overtrumper det filosofiske argument. ”Leviathan” refererer til Hobbes’ bog om samfundsstrukturen (s. 373) og luftpumpen til Boyles eksperimenter (s. 106).

et resultat af en lang række sociale processer, der snarere havde forhandlingsens og fortolkningens karakter end opdagelsens. Det forekom dem også indlysende, at Kuhn og den østrigsk-engelske filosof Ludwig Wittgenstein (1889-1951) endegyldigt havde argumenteret for og vist, at kendsgerninger var teoriladede. Der fandtes ikke ”fakta i sig selv”. Der fandtes kun fakta set, erkendt eller påstået inden for rammerne af en teori. Og igen så det ud som om, valget af teori ikke beroede på kendsgerninger, men netop kun var et valg blandt flere mulige. Det var på den måde et valg af samme art, som når man på andre områder valgte overbevisning, og videnskabelige kendsgerninger var således af samme art som religiøse overbevisninger. Kuhn havde allerede antydet dette, når han karakteriserede videnskaben som ”videnskabsmændenes religion”.

I 1979 udgav etnologen Bruno Latour (f. 1947) og sociologen Steve Woolgar (f. 1950) bogen *Laboratory Life – the construction of scientific facts*. Latour havde opholdt sig længere tid i et amerikansk forskningslaboratorium, der arbejdede inden for neurobiologi. Bogen fortalte, hvordan forskerne ”fandt” en videnskabelig kendsgerning. Den hævdede ud fra feltstudierne, at dette netop skete som en mængde forhandlings- og fortolkningsprocesser, hvor udlæsninger af data fra eksperimentelle opstillinger, diagrammer og tegninger på papir og tavler, møder, forslag og modforslag alt sammen i en social proces blev til en enighed, der så blev meddelt det øvrige videnskabelige samfund, og eventuelt offentligheden, som opdagelsen af en videnskabelig kendsgerning. Latour og Woolgar fandt ikke megen poppersk ræsonneren, endsige noget, der kunne minde om den logisk positivistiske opfattelse af videnskab. De Kuhn (og ofte Wittgenstein-)inspirerede videnskabssociologer fik hermed også støtte fra empirisk orienterede forskere, der rent faktisk havde været med, når forskerne forskede. Det forhold, at de selv antog og fulgte nogle videnskabelige principper om empirisk arbejde, gav anledning til megen debat. For enten gjorde de det, og så forekom deres egen praksis at være i modstrid med det, de mente at opdage om videnskaben. Eller også gjorde det det ikke, og så var de jo selv blot producenter af én blandt mange andre mulige og lige gyldige fortællinger, og derfor ikke værd at tage mere alvorligt end dem, der sagde, at forskerne opdagede objektive kendsgerninger ved at følge en striks og rationelt begrundet videnskabelig metode.

Den nye videnskabssociologi blev ofte kaldt ”socialkonstruktivisme”,

fordi den hævdede, at videnskabelige teorier og kendsgerninger var et resultat af netop en social proces, der havde konstruktionens snarere end opdagelsens eller deduktionens og bevisets karakter. Wittgenstein blev ofte tolket som basis for en sådan opfattelse, idet han tillagde det sociale en helt afgørende rolle for vores mulighed for erkendelse og handling, ligesom han også gav en analyse af den ellers så sikre matematik, der fremhævede betydningen af valg og konventioner. Matematikken var for ham ikke en abstrakt struktur, der kunne opdages, men netop en social konstruktion. Det var en form for konstruktion, der var noget anderledes end f.eks. Luitzen Brouwers (1881-1966), som snarere så matematikken som en art mental konstruktion. Videnskabens objektivitet og dens uomgængelige rationalitet blev underkastet en kritisk behandling, der ofte blev kaldt “debunking”. Det drejede sig om en art kritisk underminering.

Man kunne se lignende tendenser på andre felter, f.eks. inden for kønsforskning, hvor forestillingen om naturgivne køn blev “debunked” og afsløret som konventionsbundne sociale strukturer, typisk af feministiske forskere. De kastede sig i øvrigt også over videnskaben og anså den for en særlig mandsdomineret, ofte nærmest pervers, omgang med verden. Forskeren Carolyn Merchant (f. 1936) kunne således vise, i hvor høj grad den videnskabelige revolutions mænd havde opfattet naturen – objektet for deres forskning – som en kvinde, og havde spillet på for ikke at sige taget dobbeltbetydningen af verbet “to know” alvorligt (jf. at en mand “har kendt en kvinde”). Mange videnskabsfolk, både mænd og kvinder, tog disse studier af den videnskabelige aktivitet som en krigserklæring. Der blev fra mange sider sat spørgsmålstege ved validiteten af resultaterne – de var selvmodsigende, fordi de var fundamentalt relativistiske, og kunne som sådan ikke tages alvorligt. Verden befandt sig i en tilstand, hvor der ingen store fortællinger var, hvorfor den ene lille fortælling kunne være lige så god som den anden. Men for mange forskere var videnskaben netop en sammenhængende fortælling om vores mulighed for større og større erkendelse af den ydre verden.

For den postmoderne kulturforsker var der intet skel mellem digt og virkelighed. Der var mange modstanderne mod en sådan verdens- og vidensopfattelse. De mente, at forestillingen om, at “verden kan forstås”, måtte resultere i andet end en række spændende tegneseriehæfter, der med deres fænomenale tegningskunst overbeviser os, men også hele tiden måske bare holder os for nar. Flere videnskabsfilosoffer og videnskabssociologer

forsøgte at finde et nyt ståsted. At videnskaben er en social aktivitet var sologlart, men konsekvenserne af dette var mindre håndgribeligt.

Man kan udlægge disse forskellige tendenser inden for videnskabsfilosofien som krisetegn, positiv introspektion, nødvendig selvransagelse m.v. Men det, der står tilbage, er, at man begyndte at interessere sig for videnskaben som andet end abstrakte strukturer og nu så den som aktivitet, som praksis, som knyttet til instrumenter, laboratorier, sociale organisationer, repræsentationer, eksperimenter. Det gav et frisk pust ind i de ellers abstrakte filosofiske spekulationer. Og man blev opmærksom på den tætte sammenhæng mellem videnskab og teknologi, noget der ellers havde været næsten fraværende i Kuhns og Poppers værker. Videnskabsfilosofien blev konfronteret med virkeligheden. Samtidig forekom det, at de mange socialkonstruktivistiske casestudies ikke nødvendigvis behøvede at blive tolket som ren debunking af videnskaben, men faktisk kunne ses som god empirisk historie- eller samfundsforskning. Man kunne måske endda lære noget af dem om hvordan man organiserede, ledede, styrede, evaluerede og kommunikerede videnskab. Det var jo den måde, man anvendte casestudies på inden for andre grene af samfundsvidenskaben, og den amerikansk-engelske videnskabssociolog Steve Fuller (f. 1959) forsøgte således fra slutningen af 1980-erne at skabe et forskningsprogram – såkaldt social epistemologi – der skulle være forskningspolitisk involveret og give resultater, der kunne bruges inden for ledelse og organisation af forskning.

## **Statistisk signifikans – et lærestykke**

Her til sidst vil vi se på et konkret eksempel på samspil mellem både metodologiske, videnskabsfilosofiske og sociale problematikker. Det drejer sig om statistisk signifikans.

Utrøligt megen forskning består i at indsamle data og bagefter underkaste disse en statistisk analyse, for derved at nå frem til bekræftelse eller forkastelse af en hypotese. Statistik er på den måde et nøgleområde inden for videnskaben, og samtidig et område med en meget interessant historie. Genetikeren og informationsteoretikeren Ronald Fisher (1890-1962) vender tilbage i næste kapitel. Men Fisher var også, måske endda først og fremmest, statistiker. I Mellemkrigstiden kodificerede han den måde, man skulle lave statistisk analyse af empiriske data. Statistikken havde udviklet sig igennem

slutningen af 1800-tallet, bl.a. gennem udviklingen af sandsynlighedsregningen. Væsentlige navne var Francis Galton (1822-1911) og Karl Pearson (1857-1936), der begge også var “eugenikere”, som vi skal se. De og mange andre arbejdede med at indsamle og systematisere store mængder empiriske data, og de var især interesserede i, hvad man kunne uddrage af disse.

Fisher arbejdede med, hvordan man på forhånd skulle tilrettelægge videnskabelige forsøg, så de gav brugbare data, og med hvordan man ud fra disse kunne drage holdbare konklusioner. Fisher arbejdede især med situationer, hvor man skulle afgøre, om ens data var af en sådan karakter, at det var sandsynligt, at en given hypotese ikke kunne bekræftes af dem, idet de kunne være fremkommet som resultat af rene tilfældigheder. Når man har en hypotese, kan man lave to typer fejl. Enten kan man ud fra sine data slutte, at det forholder sig i overensstemmelse med hypotesen, og senere finde ud af, at det gjorde det ikke. Eller man kan hævde, at det ikke forholder sig i overensstemmelse med hypotesen, og så senere finde ud af, at det gjorde det faktisk. Fisher udarbejdede en række tests, der skulle sikre, at man ikke tillagde en hypotese forkert status. Han mente, at hvis man kunne slutte, at der var en sandsynlighed mindre end 1 til 20 for, at data var et resultat af tilfældigheder, og derfor ikke bekræftede hypotesen, kunne man hævde, at hypotesen var sand. Deraf kommer udtrykket, at det er “statistisk bevist, at ...” Fisher skabte et begreb om statistisk signifikans og om det rette niveau for denne signifikans – typisk fem procent.

Utallige “dobbeltblinde kontrollerede” forsøg, og andre forsøg blot gennemført med kontrol-grupper inden for medicin, landbrugsforskning (der var Fishers eget gebet), psykologi, økonomi osv. har anvendt hans metoder, som næsten fik status som identisk med “den videnskabelige metode”, desvagtet at man inden for f.eks. fysik og astronomi meget sjældent ser denne metode anvendt. Her ræsonnerer man oftere ud fra modeller og årsagssammehænge, ud fra “nomologiske maskiner”, som videnskabsteoretikeren Nancy Cartwright (f. 1943) har karakteriseret det. Men i ganske mange tidskrifter inden for psykologi, økonomi og andre samfundsvidenskaber samt i lægevidenskaben er langt hovedparten af artiklerne baseret på vidensudsagn, der hævdes at være viden, fordi de er statistisk signifikante.

Fisher hævdede, at der fandtes en universel metode til at afgøre kvaliteten af de videnspåstande, som man kunne komme med på basis af eksperimentelle data. Det var for så vidt en overbevisning, der passede med

samtidens bestræbelser på at finde grundlaget for en enheds-videnskab og for at se al videnskab som empirisk funderet – altså en art logisk positivisme. Men allerede i forbindelse med fremkomsten af Fishers arbejder i 1920’erne og 30’erne kom der indvendinger imod centrale dele af hans teser. Statistiske metoder kunne ikke være universelle og uafhængige af den substans, det følt, det drejede sig om. Fisher havde som en konsekvens af sine synspunkter hævdet, at der var symmetri mellem de to ovennævnte fejltyper. Men det er klart, at hvis man f.eks. bruger statistiske metoder til at styre kvaliteten i en fødevarereproduktion, er det ikke et brugbart synspunkt. Hvis en kyllinge-producent vil indføre et system med prøver for salmonella og derfor beder om vejledning fra statistikeren, er der selvklart forskel på forebyggelse af de to typer fejl. Det er katastrofalt at lave en test, der siger, at kyllingerne ikke har salmonella, hvis de faktisk har det, mens det alene koster penge for producenten, at lave en test, der siger, at de har salmonella, hvis de rent faktisk ikke har det. Der er altså ikke symmetri, og det påpegede andre, såkaldt “teoretiske”, statistikere hurtigt. Statistisk signifikans er ikke et mål for videnspåstandes pålidelighed eller brugbart som handlevejledning. Der må viden om selve substansen og situationen til.

Ikke desto mindre blev Fishers metoder kanoniserede og opnåede videnskabelig status. Fisher selv affærdigede kritikerne med, at de var rene teoretikere, der ikke havde erfaring fra konkret empirisk forsøgsarbejde. Da Kuhn og socialkonstruktivistene begyndte deres angreb på den videnskabelige objektivitet og de retoriske midler, hvormed den videnskabelige institution opretholdt disse forestillinger, kom også begrebet “statistisk signifikans” og de tilhørende tests under analyse og angreb. De blev set som netop retoriske trick, der skulle overbevise, men var uden reel grundlag. Ordet “signifikans” blev ifølge disse retoriske analyser af forskerne ofte tolket som “betydningsfuld”, og dermed sluttede de, at hvis en statistisk test viste signifikans, så var resultatet også dermed betydningsfuldt. Der var dog reel tale om forvanskning af Fisher, der alene havde sagt, at hans test med en rimelig sandsynlighed kunne sikre, at bestemte data ikke skyldtes tilfældighed. Man kan altså f.eks. ved en stor undersøgelse finde ud af, at et sæt kostvaner giver en middellevetid på 74,6 år og et andet sæt en middellevetid på 74,7 år. Hvis testen så viser statistisk signifikans, så kan man med stor sandsynlighed hævde, at denne forskel faktisk skyldes forskellen i kostvaner. Men man kan selvfølgelig ikke slutte, at denne forskel er betydningsfuld i

den forstand, at den f.eks. vil få store dele af befolkningen til at skifte kostvaner. Hvis forskellen havde været 74,6 og 79,7 år, ville man sikkert kunne se en anden form for konsekvens. Det var i øvrigt den slags diskussioner, der måtte føres omkring undersøgelserne af sammenhængen mellem rygning og lungekraeft i 1950'erne og 60'erne.

Statistisk signifikans er altså ingen garanti for “signifikans”. Den erkendelse har ikke desto mindre manglet i et utal af tidsskrifter, hvor denne type tests er blevet brugt uden en diskussion af, hvad de egentlig siger, og hvad man kan slutte ud fra dem. Der har ikke været nogen epistemologisk disciplin, kunne man sige. Fishers tidlige kritikere, f.eks. Egon S. Pearson (1895-1980) og Jerzy Neyman (1894-1981), havde også en videnskabelig kontrovers med ham. Han “vandt” i den forstand, at hans anbefalinger og metoder fik en fortolkning, der blev utrolig udbredt (faktisk findes der ganske mange software-pakker, der giver adgang til at lave statistiske signifikans-tests a la Fisher – uden at de helt gør klart, hvad det er, der sker, og hvad betydningen af det er). Og kigger man på videnskabelig aktivitet generelt, vil man se, at brugen af statistiske signifikans-tests er endog meget stor.

“Det er statistisk bevist, at ...” Argumentet er et redskab i den sociale konstruktion af videnskabelige kendsgerninger, ingen tvivl om det. Men en væsentlig del af deres overtaleeskraft skyldes en åbenlys uklarhed omkring, hvad der ligger i begrebet signifikans. En lang række tidsskrifter og videnskabelige discipliner er i de senere år begyndt at kræve andre former for statistisk behandling af empiriske data, nogle nægter sågar at optage artikler baseret på fisherske statistiske analyser for signifikans – det gælder bl.a. inden for medicin, især epidemiologi, og dele af psykologi, økologi og pædagogik.



# 9

## Det evolutionære verdenssyn

Intelletuelle fremskridt sker sjældent ved, at én part i en faglig konflikt får ret, og den anden får uret. Som regel sker de ved en gradvis oplosning af selve konflikten, ved at man mister interessen for kombattanterne og spørgsmålene, der begynder at virke støvede og ligegyldige. En virkelig ny ide er nemlig ikke bare en abstrakt logisk kategori, som man kan tilskrive en større sandhedsværdi end den forrige. Den er et helt nyt perspektiv, der efterlader de gamle spørgsmål irrelevante og afslører dem som forkert stillede eller som behæftede med fordomme og vaner. Det evolutionære verdensbilledet, der udvikledes i kølvandet på Darwins (1809-82) publicering af *Arternes oprindelse* i 1859, resulterede i nok den hidtil største oplosning af samtidens vaner og forestillinger. Bogens første oplag var udsolgt på førstedagen, og de kontroverser, der fulgte, eksisterer stadig den dag i dag.

Der var to centrale ideer i Darwins bog, som hver for sig skabte omfattende teoretiske forgreninger. Den ene var ideen om, at alle levende organismer er et produkt af en biologisk evolution, altså af en historisk proces, hvor organismer nedarver egenskaber fra fælles forfædre, og hvor modificerede varianter kan opstå. Denne ide om, at evolution var en naturlig proces på linje med diffusion og tyngdekraft, var ny for mange. Godt nok var tidligere varianter af evolutionstanken allerede blevet formuleret af bl.a. franskman-

den Georges Buffon (1707-88), der i 1779 foreslog, at Jorden kunne være så meget som 168.000 år gammel, og især af Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), hvis ide om, at erhvervede egenskaber kan nedarves til den næste generation,

◀ Siden Darwin har biologer lert meget om, hvordan levende organismer fungerer og udvikler sig. Det har ført til mange nye erkendelser om menneskets oprindelse og evolution og gjort vores forståelse af biologien meget mere kompleks. Her ses resultatet af nogle transposoner, også kaldet jumping genes, der kan få majs til at se broget ud. Alamy Images.

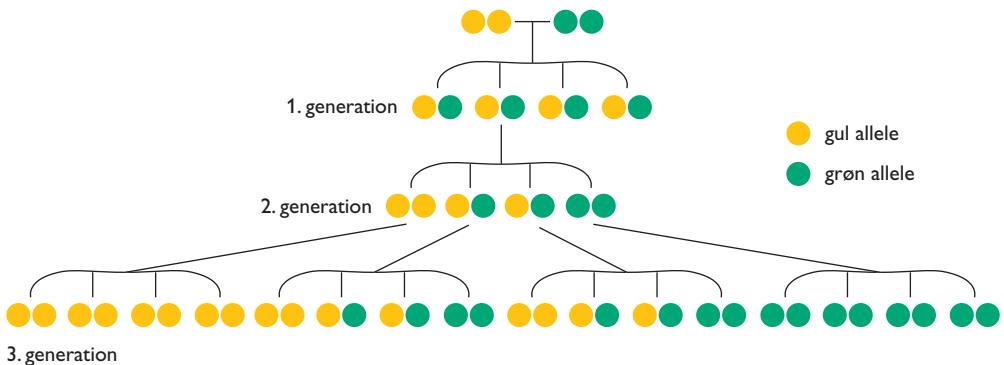
var et populært samtaleemne blandt naturalisterne i midten af 1800-tallet – men den store opmærksomhed omkring Darwins teori var en udfordring for mange, idet den øjensynligt ikke opererede med et “formål” – hverken i form af Guds vilje eller aristoteliske finale årsager – og derfor var krænklede for den tusinde år gamle tradition om at tænke verden som et statisk og formålsbestemt sted.

Darwins anden ide var, at mekanismen bag evolutionen er den naturlige udvælgelse. For at en art kan overleve i det lange løb, bliver de individuelt nedarvede træk i den delmængde af populationen, der er bedst tilpasset til den historiske situation, automatisk – dvs. “naturligt” – udvalgt. På denne måde udvikler populationer sig, og nye arter kan opstå. Denne naturlige udvælgelse var Darwins virkelig originale ide, fordi han hverken kendte til gener, kromosomer eller DNA og derfor heller ikke kunne påvise en detaljeret mekanisme for processen. Darwin troede selv på en variant af lamarckismen (s. 185), som han kaldte for “pangenese”, og de faktorer, der skulle videreføre den arvelige information, kaldte han for pangener. Først efter at August Weismann (1834-1914) i 1883 havde foreslået, at kønsceller kan videregive deres arvemateriale til krops细胞, men ikke omvendt, og først efter at biologerne havde genopdaget Gregor Mendels (1822-84) ærteeksperimenter i år 1900, begyndte man at kalde arvemateriale for “gener”, og man lærte langsomt at tage afsked med den simple lamarckisme.

Men vejen fra Darwins første formuleringer af den naturlige udvælgelse til nutidens meget komplekse forståelse af evolutionen har været fyldt med idehistoriske kampe og nybrud. Dette kapitel vil derfor opridse de vigtigste stadier i denne proces, startende med nogle af de mange naturalistiske og forsimplende fejtlslutninger, som darwinismen førte med sig, over de afklaringer og afgrænsninger den moderne syntese definerede, og frem til de mange nye videnskabsgrene, der har bidraget til den evolutionære teori med væsentlige teoretiske nybrud i form af molekylærbiologi, dynamiske systemer, samarbejde, palæobiologi og evolutionær psykologi.

## Det eugeniske program

Slutningen af 1800-tallet og første halvdel af 1900-tallet var kendetegnet ved store ideologiske tilpasningsvanskeligheder over for Darwins ideer. Gennem flere årtusinder havde Europa været styret af politiske systemer,

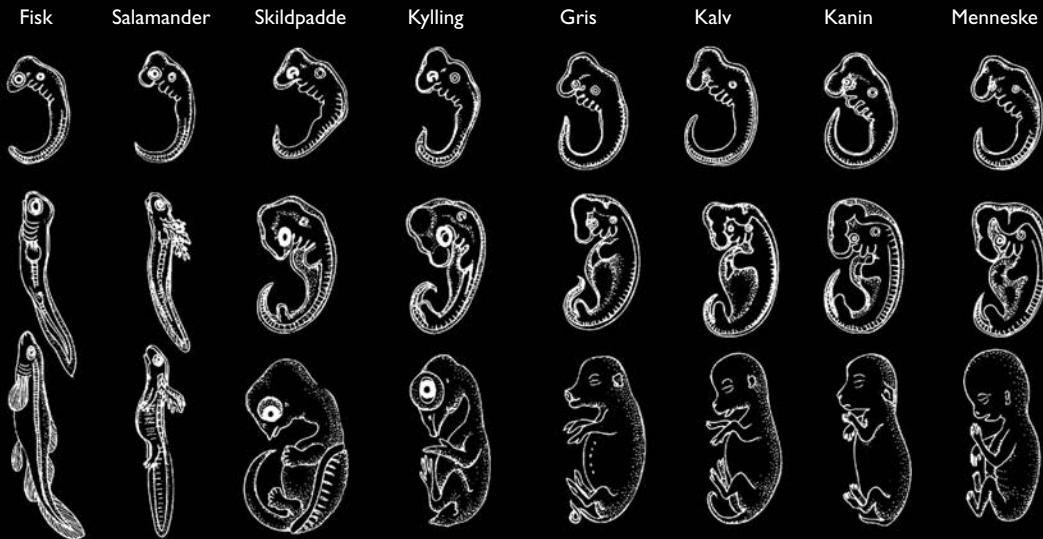


som opdelte mennesker ved hjælp af hudfarve, social arv og religion. Darwins teori og hans afsløring af menneskets nære slægtskab med visse patte-dyr blotlagde, hvor arbitrære og ”videnskabelige” disse opdelinger var. Og da det var de videnskabelige triumfers tid, blev der derfor brugt mange kræfter på at finde nye ”videnskabelige” argumenter for opdelingernes beståen.

Mellem 1870 og 1920 var troen på en såkaldt ontogenetisk rekapitulation f.eks. det vigtigste ”videnskabelige” argument for racetænkningen. Det var ikke noget, Darwin havde fundet på, men

var et forsøg på at koble den gammeldags racelære med den ”moderne” darwinisme. Rekapitulationsteorien, der i 1866 var blevet fremsat af den tyske zoolog Ernst Haeckel (1834-1919), antager fejlagtigt, at embryoer gennemgår evolutionens tidligere stadier, sådan at hver baby i maven stiger op igennem evolutionstræet endnu engang og populært sagt udvikler sig fra fisk til menneske. Følgelig mente en af teoriens senere tilhængere, amerikaneren Daniel G. Brinton (1837-99), at det voksne menneske, der har bibeholdt de børne-lignende egenskaber, står lavere end et voksent menneske, som har ”udviklet sig væk fra dem”. ”Målt med disse kriterier,” skrev Brinton, ”står den hvide europæer på toppen af listen, hvorimod den sorte afrikaner står ved dens fod.” Mange valgte at abonnere på teorien, fordi de kunne lave socialpolitik med den, enten som Haeckel, Darwins mest kendte talerør, der brugte teorien til at angribe adelens krav på specielle fortrin, eller som Rudyard Kipling (1865-1936), der brugte den til at retfærdiggøre den engelske imperialisme, eller som Richard Wagner (1813-83) og

Den tjekkiske biolog og præst Gregor Mendel opdagede via sine ærteforsøg i løbet af 1860’erne, at når man krydser grønne og gule ærter, vil den første generation af afkom altid have gule frø, mens de følgende generationer i snit har et 3:1-forhold af gule og grønne frø. Derudfra sluttede Mendel, at arvelige træk kan være knyttet til kombinationen af to gen-varianter, kaldet alleler, hvor den ene er dominant og den anden recessiv. I figuren vil ærter, bestående af gul/gul og gul/grøn derfor altid være gule, og kun grøn/grøn være grønne. Så selvom den dominante form bestemmer farven, kan den recessive nedarves uændret.



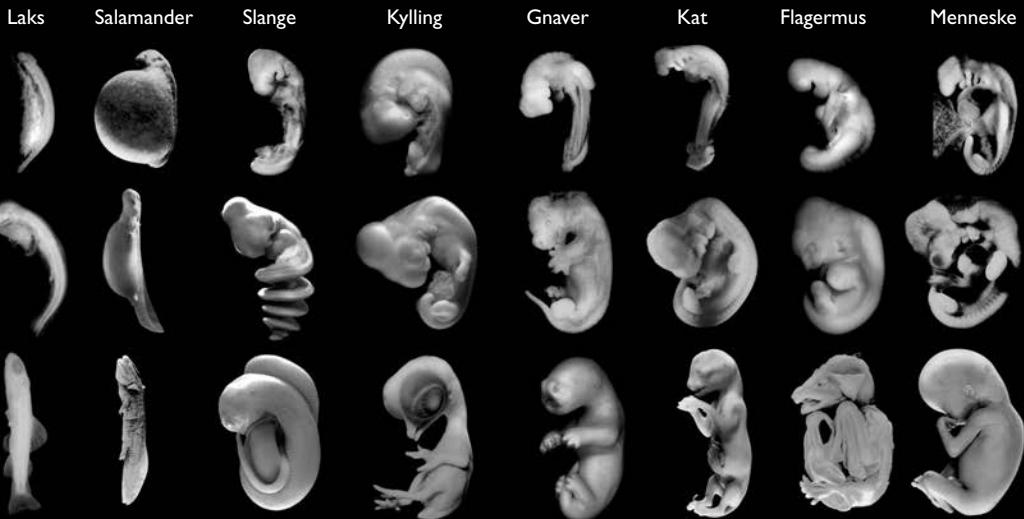
I 1866 brugte Ernst Haeckel tegninger af embryoers udviklingsstadier til at argumentere for rekaptulationsteorien (denne side). I 1998 fotograferede en gruppe af forskere Haeckels embryoer (modstående side), som viste betydelige forskelle fra tegningerne. Haeckel mente bl.a. at menneskefostret gennemgår et stade med gællespalter. Det viste sig ved nærmere eftersyn ikke at være tilfældet. Der var i stedet tale om begyndelsesstadiet til den såkaldte pharynx, overgangen mellem mund og hals, hvorigennem både mad og luft skal passere.

M. Richardson og R. O'Rahilly.

Houston Stewart Chamberlain (1855-1927), der brugte den til at argumentere for den ariske races overlegenhed i forhold til især jøderne.

Men da rekaptulationsteorien mistede sit videnskabelige grundlag på grund af mere præcise anatomiske studier og genopdagelsen af Mendels arbejde, betød det ikke, at de racistske argumenter blev forladt. Tværtimod blev raceteorierne tilpasset de nyeste fortolkninger af darwinismen. En af de vigtigste nye fortolkninger blev kaldt "Neoteni-teorien". Den blev første gang blev formuleret af

den hollandske anatom Louis Bolk (1866-1930) i 1926 og argumenterede ret beset stik modsat rekaptulationsteorien. Neoteni-teorien påstod, at mennesker i stigende grad bibrænder deres embryoniske træk, således at de voksne træk langsomt forsvinder i løbet af menneskets historie, og at vi i stigende grad kommer til at ligne børn. Som bevis for teoriens gyldighed brugte Bolk menneskets storetå som eksempel: ligesom abebørn – men til forskel fra voksne aber – bibrænder den sin parallelle orientering i forhold til de andre tær. Bolk viste også, at mennesker har en relativ stor kraniestørrelse i forhold til voksne aber; relativt små kæbepartier, relativ hårløshed osv. – alt sammen mere barnlige træk. Hvor rekaptulationsteorien argumenterede for, at de ældre og mere udviklede træk havde en højere evolutionær



værdi, mente Bolk modsat, at det var positivt, at vi kommer til at ligne vores børn mere og mere. Til sidst kunne Bolk derfor helt medmenneskeligt konkludere, at ”det er muligt for alle andre racer at nå til toppen af denne udvikling, som nu er besat af den hvide race.” Teorier forgår, men racetænkningen består.

Som det fremgår, bliver naturvidenskabelige data meget ofte tolket i henhold til en bestemt ideologi. Argumenterne er måske ikke helt logiske, men de virker. Eksemplerne var, og er stadig, talrige: positiv eugenik, racelære, frenologi, kraniologi, pop-ethologi, kriminalistisk antropologi, IQ-tests osv. Denne historiske udviklings absolutte nulpunkt findes i Hitler-tyskland under Anden Verdenskrig. Wannsee-konferencen i 1942 skulle afgøre ”Die Endlösung der Judenfrage”, og resultatet blev det systematiske mord på millioner af jøder. Kernen i Wannsee-protokollens racehygiejniske argument var ordene ”naturlig selektion”. For Hitler var drab på 6 millioner jøder nemlig ikke nok. Hvis nogle tyskere havde for meget jødisk blod i sig fra deres forfædre, skulle de også sendes i gaskamre. Wannsee-protokollen gennemgår minutøst, hvad man skal gøre med disse ”Mischlinge”, dvs. personer af blandet herkomst: halv-jøder ansås som jøder, kvart-jøder som tyskere. Halv-jøder kunne dog undgå døden, hvis de giftede sig med en tysker og fik børn, hvorefter de skulle steriliseres. Hvis de ikke havde fået børn, skulle de dø. Kvart-jøderne kunne også dræbes, hvis de 1) var gift med andre kvarte eller halve blandinger, 2) så alt for jødiske ud, 3) havde en

**Obersichtstafel, betreffend die Zulässigkeit der Eheschließungen zwischen Ariern und Nichtariern.**

R.Bu.G. = Reichsbürgergesetz.  
G.Sch. d. Bl. = Gesetz zum Schutz des deutschen Blutes und der deutschen Ehre  
AVO. = Ausfuhrungsverordnung.

	befreiter Staatsangehöriger deutscher oder arischer血统的白人		von 2 jüdischen Großeltern abstammender jüdischer Nachklang	
	von 1 jüdischen Großeltern abstammender jüdischer Nachklang (§ 2 d. AVO R.B. G.)		von 3 oder 4 jüdischen Großeltern abstammender Jude (§ 3 d. AVO R. 2. G.)	
1/2 AVO	Bedeutung des Elternteils	1/2 AVO	Bedeutung des Elternteils	
	Zulässigkeit der Ehe		Zulässigkeit der Ehe	
	Gruppe I:		Gruppe II:	
1		zulässig	9	wie bei Nr. 3
2		zulässig	10	wie bei Nr. 1
3		a) zulässig mit beschränkter Geschlechtsausbreitung, § 3 AVO G.Sch. d. Bl.  b) verboten in den Sonderfällen s. bis d. § 5 (2) d. AVO R. B. G.	11	zulässig ein AVO G.Sch. d. St. nicht erlaubt
4		verboten § 1 G.Sch. d. Bl.	12	zulässig aber der gesetzliche Vertrag wird jede n. § 5 (2) d. AVO R. B. G.
	Gruppe III:		Gruppe IV:	
5		wie bei Nr. 2	13	wie bei Nr. 4
6		zulässig nicht Geschlechtsausbreitung, § 4 AVO G.Sch. d. Bl.	14	wie bei Nr. 6
7		a) zulässig mit beschränkter Geschlechtsausbreitung, § 3 AVO G.Sch. d. Bl.  b) verboten in den Sonderfällen s. bis d. § 5 (2) d. AVO R. B. G.	15	wie bei Nr. 12
8		verboten § 2 AVO G.Sch. d. Bl.	16	zulässig

“ne og degenerere” befolkningskvaliteten. Det var ikke fordi, nazismen lurde under overfladen af dansk politik, men fordi der eksisterede en helt anden grundforståelse af, hvad samfundets og individets rolle var i forhold til forplantningen. Det var en holdning, som gik ud på at sige, at samfundet har et ansvar for dets børn. Det var ikke bare den enkeltes privatliv, det drejede sig om, tværtimod havde man en fælles pligt til at sørge for, at samfundet og befolkningskvaliteten var i orden. Racehygiejne nød bred offentlig accept helt frem til 1960’erne, og det var de socialdemokratiske partier i Danmark, Sverige og Norge, der var førende på området. Deres arvehygiejniske forplantningsprogrammer var tænkt som et vigtigt og positivt led i velfærdspolitikken. Den praktiske racehygiejne i Europa var blevet inspireret af USA, hvor man i en række delstater havde iværksat en arvehygiejniske sterilisationslov-givning allerede i 1907. Kun menneskerettighedskonventionens vedtagelse og ratificering i midten af 1950’erne og den gradvis stigende fokusering på individets selvbestemmelse i løbet af 1960’erne bevirkede, at man i offentligheden ikke længere kunne tale om “minusmennesker”, “undermålere” og “åndssvage” med alvor i stemmen.

Perioden mellem 1960 og 1989 var således præget af stærk kritik over

I de såkaldte Nürnberger-love fra 1935 blev man klassificeret som jøde eller ikke-jøde ud fra sine bedsteforældre. Havde man f.eks. mere end to jødiske bedsteforældre, var man jøde. Dette kort fra 1936 er en oversigt over “tilladeligheden af ægteskab mellem ariere og ikke-ariere”. De hvide cirkler repræsenterer “rene tyskere”, cirklerne med sort indikerer graden af “jødisk blod”. Tilladelig var et ægteskab mellem f.eks. en “ren arier” og kvart jøde. Ikke tilladt var et ægteskab mellem f.eks. en kvart jøde og en trekvart jøde.

forkert politisk holdning eller 4) var forbrydere.

Men eugenisk tænkning har altid eksisteret i Europa. Danmark bedrev således aktiv racehygiejne til langt efter Anden Verdenskrig, og i perioden 1929-67 tvangsteriliseredes 6000 danskere på grund af deres mangelfulde intelligens og iboende tendens til at “forure-

for eugenisk tankegods, især hvis det kom fra en formynderisk stat. Men opfindelsen af nye forplantningsteknikker og en meget mere individualistisk præget samfundsfilosofi efter Berlin-murens fald genåbnede muligheden for at bedrive eugenik. Denne gang var det ikke formulert som statsstyret racehygiejne, men som personlige servicetilbud. Ulykkelige par kunne få befrugtet deres æg i en glasskål, og i løbet af kort tid kunne man vælge mellem en hel række yderligere screenings- og forplantningsteknologier, såsom fosterscanninger, præimplantationsdiagnostik, sædinjektion, ægdonation, ægsortering og nedfrysning af æg og sæd. I begyndelsen af det 21. århundrede var antallet af nyfødte reagensglasbørn verden over steget til 100.000 årligt, med en stærkt stigende tendens.

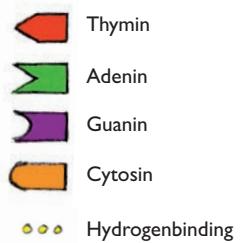
Eugenik var igen blevet ukontroversielt. Så længe det handlede om familiære og individuelle valg, var der intet kendt skrækscenarium, ej heller en overbevisende morallære, som kunne sætte en kæp i hjulet på udfoldelsen af denne fagre nye verden. Design-baseret genterapi er sandsynligvis det næste skridt på vejen, først i form af udryddelsen af arvelige sygdomme og reparation af skadelige mutationer, den såkaldte negative eugenik, men hurtigt efterfulgt af positiv, æstetisk udvælgelse på basis af individuelle valg.

## Den moderne syntese

På Darwins tid kendte man kun til æstetisk udvælgelse af husdyr. I løbet af det 20. århundrede blev Darwins teori bekræftet med det ene eksperiment efter det andet. Darwin havde selv opbygget et hav af empirisk materiale i form af fossiler, geografiske fordelinger af arter, anatomiske studier og omfattende data om domesticerede dyr og planter. Alle viste de effekten af den naturlige udvælgelse og bidrog til oprettelsen af en lang række nye forskningsgrene, såsom komparativ morfologi, deskriptiv



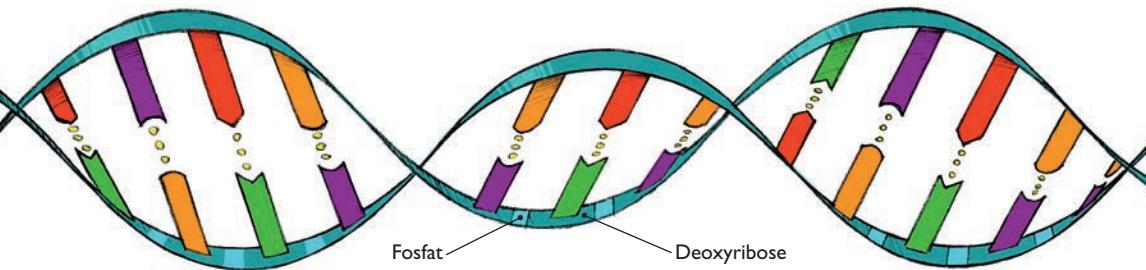
Da Louise Brown blev født den 25. juli 1978 som det første reagensglasbarn i verden, startede det en regulær revolution inden for fertilitetsbehandlingen. I 2007 blev Brown selv mor til en velskabt pige. "Vi var heldige, at jeg kunne undfange ad naturlig vej ... så det var klart lettere for os, end det var for mor og far", udtalte hun til *Daily Mail*. Courtesy Louise Brown/Martin Powell Communications.



embryologi, palæontologi, biogeografi, systematik og genetik. Men der var også områder af Darwins teori, som måtte revideres fundamentalt, f.eks. hans tro på at de arvelige informationer blandes, således at bestemte egenskaber – f.eks. farver eller unikke former – må blive til en mellemtning i næste generation.

Genopdagelsen af Mendels ærteeksperimenter viste, at arvematerialet er en slags udødelige “atomer”, dvs. gener, som bliver rekombineret for hver ny generation, således at de unikke egenskaber ikke behøver at forsvinde. I 1908 lagde englænderen Godfrey H. Hardy (1877-1947) og tyskeren Wilhelm Weinberg (1862-1937) så grundstenen til populationsgenetikken ved at vise, at der faktisk kan være mange former for lige vægt mellem de forskellige genetiske varianter i en population. Variationer og tilfældige mutationer kunne med andre ord sagtens bestå. Men det var først i 1930, at man fik det hele til at stemme overens, og det skete primært ved hjælp fra englænderen Ronald Fishers (1890-1962) matematiske analyser i hans bog *The Genetical Theory of Natural Selection*, der blev efterfulgt af uddybende teoretiske værker af blandt andet John B.S. Haldane (1892-1964) og amerikaneren Sewall Wright (1889-1988). Deres bidrag blev hjørnestenen for den moderne eller “neo-darwinistiske” syntese, der har præget biologien lige siden. Blandt deres vigtigste resultater var statistiske analyser af, hvordan negative mutationer kunne holdes i skak, mens fordelagtige mutationer kunne spredes i en population, og hvordan arter kunne udvikle sig, ikke kun via den naturlige udvælgelse, som Darwin havde beskrevet, men i lige så høj grad via tilfældig genetisk drift og neutrale mutationer, som i det lange løb, over mange millioner år, kunne resultere i anatomiske forskelle, specialisering, reproduktiv isolation og til sidst til udviklingen af nye arter og alle de højere taksonomiske niveauer af liv (slægt, familie orden etc.), som var blevet klassificeret af svenskeren Carl von Linné (1707-78) allerede i midten af 1700-tallet.

Den store fortælling om livet på Jorden, “the great chain of being”, var blevet kortlagt og forklaret, følte mange. Man havde godt nok reduceret alt levende til en abstrakt punktmængde af biologiske egnethedsværdier – eller “fitness”-værdier – i et sæt differentialligninger, men det var en lille pris i forhold til teoriens enorme udsigelseskraft, der potentielt kunne sige noget meningsfuldt om alt fra søpølsers form til menneskers komplicerede sociale samspil. Kronen på værket kom i 1953, da James D. Watson (f. 1928)



DNA, eller deoxyribonukleinsyre, er en såkaldt polymer, som ved hjælp af fire slags nukleotider gemmer den genetiske information. Alle kendte levende organismer på Jorden er opbygget via DNA. Det er opdelt i segmenter, hvorfra nogle er gener, som bruges til at konstruere andre stoffer såsom proteiner og RNA-molekyler, der kan udføre bestemte funktioner i kroppen.

DNA var ikke kun et bevis for arvelighedens molekulære basis. DNA-dobbeltspiralen viste sig i selve sin visuelle, lynlås-agtige form at være en opskrift på, hvordan genetiske instruktioner lagres og kopieres. Det var en kæmpe succes for den teoretiske biologi.

Den moderne neo-darwinisme var en kraftig kæberasler for de få vitalister, der var tilbage, f.eks. den tyske biolog Hans Driesch (1867-1941). Man kunne måske ikke fuldkomment redegøre for alle de biologiske fænomener, der fandtes, men man havde byggestenene, og man havde forstået de vigtigste principper for deres organisering. Dengang dette ikke var tilfældet, som da man f.eks. 100 år tidligere havde spekuleret over, hvordan respiration fungerer, var det meget oplagt at ty til en vitalistisk forklaringsmodel: man antog blot, at der fandtes et bestemt livgivende princip, der gjorde, at man kunne ånde. Det samme gjaldt for forståelsen af arveprocessen: man mente, at der fandtes en livskraft – et *élan vital*, som Henri Bergson (1859-1941) udtrykte det – der var immateriel og blev podet ind i den nyfødte krop.

Efter 1930 var stort set alle biologer enige om, at der fandtes en anden og bedre hypotese: at levende organismer, inklusive menneskene, bedst kan anskues som værende meget komplikerede klumper af organisk stof, der er opstået gennem en lang udviklingshistorie, og som er underlagt tilfældige variationer, genetisk reproduktion og naturlig udvælgelse. På Darwins tid blev de gamle teorier som rationel teologi, vitalisme og kreationisme stadig anset som plausible og tilgængelige for videnskabelig analyse. Men i midten af 1900-tallet var der samlet så megen empiri og opdaget så meget nyt,

og Francis Crick (1916-2004) fremlagde deres model for arvematerialets struktur – DNA-strengen – på baggrund af bl.a. Erwin Chargaffs (1905-2002) og Rosalind Elsie Franklins (1920-58) forarbejde. Opdagelsen af

at deres forsvar var blevet umuliggjort. Ikke desto mindre har vitalismen stadig stor appell, især i USA, hvor den med ca. 20 års mellemrum dukker op i nye gevandter, bl.a. under betegnelsen “intelligent design”, og forsøger at udfordre darwinismen på forskellige punkter. Trods dette har Darwins analyser stået distancen forbløffende godt.

## Økologi og bioteknologi

Omkring 1900 dukkede der en række videnskabelige synspunkter og værker op, der anlagde et nyt syn på liv og natur. De var helhedsorienterede – holistiske – og forsøgte at anskue naturprocesser i et andet perspektiv end det mekanistiske. Den romantiske naturopfattelse blev spaltet i to dele: den rent “religiøse” og den mere “videnskabelige”. På baggrund af empiriske studier havde geografen Alexander Humboldt (1769-1859) allerede midt i århundredet i storværket *Kosmos* fremlagt en lang række naturfænomener, der pegede på, at naturen var et komplekst fungerende system, der ikke kun kunne forstås som en avanceret maskine. På den ene side var Humboldt empiriker, der observerede og målte, på den anden side var han optaget af ideer om naturens enhed og alttings komplekse samspil – en meget æstetisk holdning til naturen, der betonede naturens harmoni, snarere end kausale sammenhænge eller kampen for overlevelse. Humboldt var især fokuseret på at forstå samspillet imellem organismer og deres miljø.

Få år senere formulerede Ernst Haeckel et økologisk naturbegreb – faktisk var det ham, der konstruerede ordet ”økologi” (dvs. ”læren om levesteder”). Han var ikke kun forsker, men også ideolog, dvs. han ønskede på basis af videnskabelige teorier at udvikle en mere generel livs-, menneske- og samfundsopfattelse. Der skulle ikke kun skabes en videnskab, økologi, om samspillet mellem organismer og deres miljø, men også en grundholdning, økologisme. Haeckels grundlæggende opfattelse var, at naturen var en enhed, og at det derfor var forkert f.eks. at sondre mellem det åndelige og sjælelige på den ene side og det fysiske eller materielle på den anden. Haeckel var således monist. Han afviste også antropocentrismen, dvs. opfattelsen af, at mennesket var alttings centrum og mål. Alle organismer i naturen var ligeberettigede og havde krav på respekt for deres egenart. Det betød også, at det var meget problematisk at betragte naturen som et forråd bestemt for mennesket. Han ville derimod udvikle ”husholdningsprincipper”, der base-

rede sig på naturens egne principper, ikke menneskets "røveri" og udbytning. Haeckel var overbevist darwinist og troede på udvikling og fremskridt. Men det skulle ikke være et fremskridt, der ødelagde naturens balance og sammenhæng – vækst skulle være vækst i organisk forstand.

Flere forskere arbejdede med at realisere Haeckels ideer om en videnskabelig økologi, f.eks. den danske botaniker Eugen Warming (1841-1924), der studerede planters samspil med deres omgivelser og opfattede dem som elementer i et sammenhængende samfund. Han udgav i 1896 bogen *Plantesamfund*, som i 1909 blev udgivet på engelsk med titlen *The Ecology of Plants*. Warming betragtede her udviklingen af plantesamfund som stræbende imod en økologisk ligevægt, et synspunkt, der næsten reintroducerede Aristoteles' forskellige betragtningsmåder. Senere fik ideerne om økologiske systemer og stabile tilstande stor betydning, og amerikaneren Frederic Clements (1874-1945) formulerede i 1920'erne og 30'erne en række synspunkter på vækstsamfund, som han forstod som en højere ordens organisme. Prærien f.eks. var i sig selv en sammenhængende helhed, en organisme, og skulle forstås som sådan. Når prærien blev opdyrket af mennesket, var det ikke en situation, der skulle forstås ud fra menneskets synsvinkel, men som et led i en helheds-organismes udvikling. Allerede filosoffen Herbert Spencer (1820-1903) havde i slutningen af 1800-tallet arbejdet med sådanne udviklingsideer, men havde ikke sammentankt teorier om organismer i biologisk forstand med teorier om samfunds udvikling. Ved at anlægge en helhedsbetragtning blev samspillet mellem mennesker og miljø afgørende, og mennesket en del af en større levende helhed. Mennesket kunne eksistere i flere forskellige typer af samspil med det øvrige miljø. Indianerens forhold til prærien var således et helt andet end nybyggerens.

Samtidig med disse videnskabelige ideers udvikling skete der også en ændring i synet på naturen. 1800-tallet havde i forbindelse med udviklingen af det industrialiserede samfund set naturen som en ressource, der skulle udnyttes, eller et system – næsten et uhyre – der skulle underkues, besejres og kontrolleres; naturen var vildmarken, der skulle underkastes civilisering, gøres til kultur. Nu opstod forestillinger om, at man skulle bevare naturen, at den var værdifuld i sig selv og skulle plejes "på dens egne præmisser", og at brugen af den ikke skulle ske på menneskets præmisser, men på naturens egne eller ud fra en betragtning af den større helhed, som menneske og natur tilsammen udgjorde. Amerikaneren John Muir (1838-1914) formulerede



Max Peintner (f. 1937): *Die ungebrochene Anziehungskraft der Natur* ("Naturens vedvarende tiltrækningskraft"), 1970/71.

sådanne ideer omkring år 1900 og arbejdede for at realisere dem, f.eks. i arbejdet med de store nationalparker, hvor naturen skulle stå urørt. I mange lande vandt disse ideer gehør, og der opstod bevægelser for naturbevaring og -fredning.

Der var tale om en ny naturetik, et nyt syn på det moralske forhold mellem mennesket og dets omverden, dets "miljø". En anden amerikaner, Aldo Leopold (1887-1948), formulerede i løbet af 1930'erne og 40'erne en ny miljøetik, hvor alle elementer i det biologiske fællesskab var ligeberettigede, og hvor mennesket ikke havde nogen særstilling i universet, ingen særlige rettigheder frem for andre aktører i det økologiske fællesskab. Hans posthumt udgivne værk *A Sand County Almanac* fra 1948-49 bidrog til at formulere en ny miljøetik, baseret på fællesskabstanken, og den fik uhyre stor betydning for den bredere miljøbevidsthed, der slog igennem i 1960'erne. Et vigtigt element i dette gennemslag var dokumentationen af de flere og flere problemer, der opstod ved brugen af kemikalier, sprøjtemidler og tilsætningsstoffer inden for industri og landbrug. Rachel Carsons (1907-64) bog fra 1962, *Silent Spring*, om konsekvenserne ved den udstrakte brug af DDT er her et godt eksempel, ligesom James Lovelocks (f. 1919) "Gaiateori" om, at hele plane-

Amerikansk reklame for DDT fra *Time Magazine*, 30. juni 1947. DDT blev i starten brugt som insektmidel, og efter at den schweiziske kemiker Paul Hermann Müller (1890-1965) fik nobelprisen i fysiologi/medicin i 1948 for sin "opdagelse af DDT's høje effektivitet", blev DDT introduceret som det første moderne pesticid og brugt i stor skala i landbruget.

ten Jorden er én enkelt organisme, er det.

Udviklingen af et nyt moralsk naturbegreb er således gået hånd i hånd med udviklingen af nye teoretiske forståelsesrammer. Mennesket ses ikke længere som en ekstern observatør, der alene med sin krop deltager i naturen, men som helt og fuldt

– også som erkendende væsen – indlejret i en levende helhed. Naturen opfattes ikke som et dødt mekanisk system, hvor komplekst det end kan være, men som et levende og kreativt system, der udvikler sig også på andre måder end ved blind kausalitet. Tidligere tiders – bl.a. renæssancens og romantikkens – forestillinger om naturen som et levende væsen, som noget, der ikke kunne forstås eller beskrives uden at inkludere mening og formål, blev på denne måde moderniseret.

## Darwins mange små børn

De største udfordringer for darwinismen og neo-darwinismen kom aldrig fra folk, som ønskede sig tilbage til en vitalistisk og dualistisk verdensopfattelse, hvor krop og ånd var adskilt i to sfærer. De kom som oftest fra biologer,

**"DDT is good for me-e-e!"**

**GOOD FOR STEERS**—Beef grows meatier... more... ... for it's a scientific fact that—compared to untreated cattle—beef-steers gain up to 50 pounds extra when protected from horn flies and many other pests with DDT insecticides.

**GOOD FOR FRUITS**—Bigger apples, juicier fruits that are free from unsightly worms... all come from DDT dusts and sprays.

**KNOX FOR THE HOME**—Helps make your home healthier, more comfortable and cleaner... protects your family from dangerous house pests. Use Knox-Out! DDT Powders and Sprays as directed... then watch the bugs "bite the dust"!

**GOOD FOR CROPS**—25 more barrels of potatoes... more... actual DDT tests have crop increases like this! DDT dusts and sprays help truck farmers pass these gains along to you.

**KNOX FOR DAIRIES**—Up to 20% more cheese... more butter... more milk production when dairy cows are treated from the annoyance of many insects with DDT insecticides like Knox-Out Stock and Barn Sprays.

**KNOX FOR INDUSTRY**—Food processing plants, laundries, dry cleaning plants, hotels, restaurants, theatres gain effective bug control under pleasant working conditions with Pennsalt DDT products.

**PENN SALT CHEMICALS**  
92 Years' Service to Industry • Farm • Home  
**PENNSYLVANIA SALT MANUFACTURING COMPANY**  
WIDENER BUILDING, PHILADELPHIA, PA.

der definerede sig selv som darwinister, og som ønskede at forfine, udvide og nuancere teorien.

Blandt dem kan man f.eks. nævne japaneren Motoo Kimura (1924-94), som i løbet af 1960’erne havde regnet sig frem til, at neutrale genetiske mutationer – der ikke ændrer selve funktionaliteten af en organisme, men blot ophobes i en population – kan have en langt større evolutionær betydning end den naturlige udvælgelse. Det skyldes, at neutraliteten kan fungere som et slags surfbræt på de stadig foranderlige omverdensbetingelser. Hvis der opstår en pludselig ændring i livsbetingelserne, vil en population med mange selektivt neutrale mutanter meget hurtigt kunne tilpasse sig den nye situation. Som en analogi kan man forestille sig, at populationer af arter lever i et alpelandskab af livsudfordringer. Hver bjergtop udgør en specialiseret evne, og jo bedre man er tilpasset, jo højere oppe er man på bjerget. Men problemet er, at landskabet ændrer sig løbende. Uden variation og neutrale mutationer vil en art sidde fast på den lokale bjergtop, som i mellemtiden er blevet til en lille bakketop. Men med neutrale mutationer i artens population vil der løbende være en slags motorveje gennem landskabet, og arten vil have lettere ved at flytte sig over på en tilstødende bjergtop, som er højere. Højere variation betyder derfor større plasticitet og hurtigere tilpasning.

I et idehistorisk perspektiv var dette af stor betydning, for nu var det ikke blot “de bedst tilpassede”, der var afgørende for overlevelsen, men selve mangfoldigheden og plasticiteten, det vil sige populationens evne til at bevæge sig sammen med landskabets gradvise forandringer.

Den slags sekundære effekter og dynamiske fænomener har også til en vis grad rehabiliteret lamarckismen. I mange lærebøger i dag ses det stadig som fundamentalt forkert at tro, at en organisme kan erhverve egenskaber fra sin omverden og nedarve dem til sit afkom. Men den skotske embryolog Conrad Waddington (1905-75) kunne i 1942 beskrive en proces, som til forveksling ligner en lamarckistisk mekanisme, selvom den faktisk er fuldt kompatibel med neo-darwinismen. Den kaldes for “genetisk assimilation”, “Baldwin-effekten” eller “kanalisering” og viser, hvordan populationers plasticitet medfører, at nogle individer er bedre til at tilpasse sig end andre, således at de har en lille reproduktiv fordel, hvilket igen kan oversættes til en højere frekvens af afkom med samme evner. Det kunne være nogle bestemte psykologiske kendeteogn, nogle fordelagtige fysiske træk eller sociale egenskaber. Til

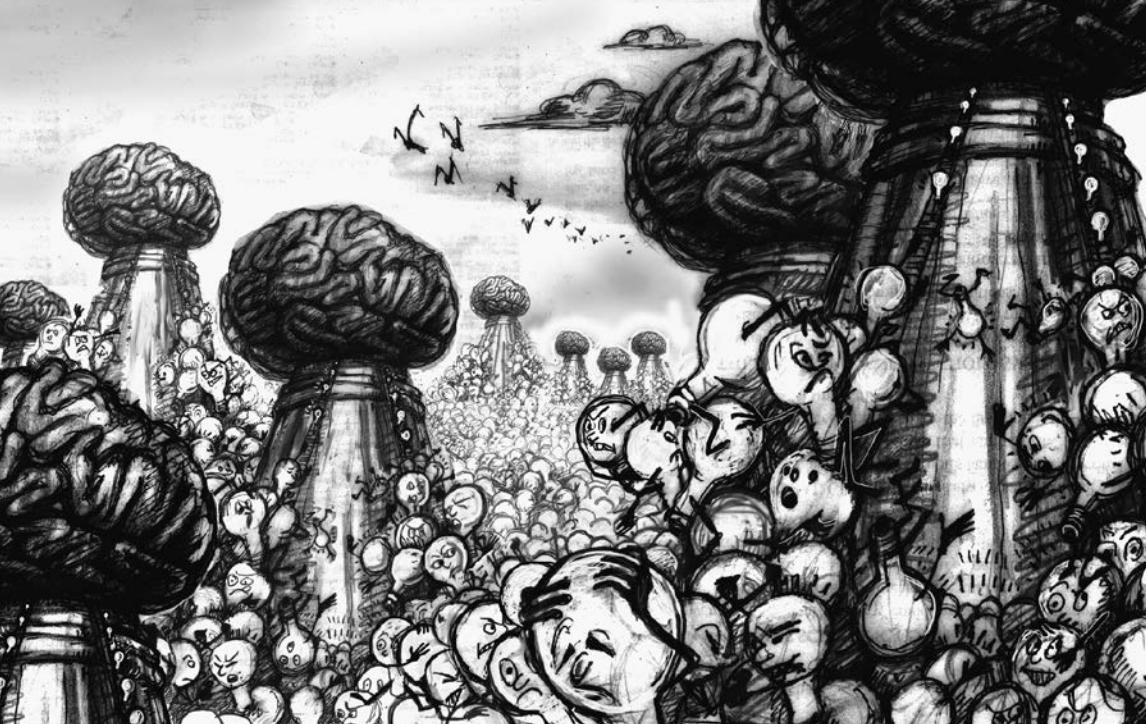


at starte med nedarves de primært via kulturel læring, men given tilpas tid og ro vil der være en god chance for, at organismen erstatter den plastiske mekanisme med en genetisk mekanisme. Hvad der tidligere var tillært, er nu blevet instinktivt.

I løbet af 1980’erne og 90’erne har et utal af eksperimenter bekræftet ideen. Man har endda kunnet vise, at det i høj grad er plasticiteten selv, der udvælges i form af en slags instruktionsmanual, som fortæller generne, hvornår, hvor og hvor meget de skal aktiveres. Disse såkaldte epigenetiske instruktioner aktiveres af ganske bestemte påvirkninger fra omverdenen og repræsenterer derfor en meget bredere og mere læringsorienteret form for arvelighed end den rent genetiske. Og det har stor betydning for evolutionen. I og med at de epigenetiske faktorer kan tændes og slukkes uden først igen at skulle “opdages” igennem tilfældige mutationer, vil den evolutionære hastighed, hvormed organismer tilpasser sig, øges gevældigt. Ændringerne i instruktionsmanualen skaber igen en slags motortrafikvej for udvælgelse og tilpasning i forhold til de snørklede grusveje, som gængs naturlig udvælgelse bevæger sig på.

Der har også vist sig at være en række yderligere teknikker, som orga-

I et fitnesslandskab kan det være svært at komme over på en bedre tilpasset bjergtop, hvis ikke en lille del af populationen får lov at bolte sig andre steder. Men tit vil en population alene ved hjælp af neutrale mutationer kunne finde et højere bjerg, lidt ligesom når bjergbestigere ofte kan finde et bjergpas, der leder til en anden top, så de ikke behøver at gå igennem dalen.



"Forestil dig en verden fuld af hjerner og langt flere memer end steder at bo." Tegning af Pat Linse til en coverillustration i Skeptic Magazine, 1997. [www.skeptic.com](http://www.skeptic.com).

McClintock (1902-92). Hun fandt, at majsplanter havde nogle mobile genetiske elementer, som kunne hoppe frem og tilbage i kromosomerne (se billede s. 342). Disse "jumping genes", eller "transposoner" – er en slags faldskærmstropper, der kan kile sig ind mellem andre gener og på den måde tænde og slukke for bestemte funktioner, det ellers ville være umuligt at have en mere fleksibel kontrol over. En anden meget effektiv teknik er den såkaldte horisontale gen-overførsel, der blev beskrevet af den tyske biolog Peter Gogarten (f. 1953), men som først for alvor blev kendt, efter at de første genommer – dvs. arvemasser – var blevet kortlagt i 1990'erne. I den proces overføres ikke kun en mutation eller to, men hele DNA-stumper fra en organisme til en anden, både vertikalt, dvs. til eget afkom, og horisontalt, dvs. til helt andre organismer og arter. Processen kendes især fra resistensudvikling i bakterier, men den har også vist sig til en vis grad at foregå i planter og insekter. Horizontal gen-overførsel udfordrer dermed igen ideen om, at biologiske arter er stabile og autonome enheder, der kun konkurrerer via tilfældige mutationer og naturlig udvælgelse. Der findes tværtimod en stor basar af mere direkte

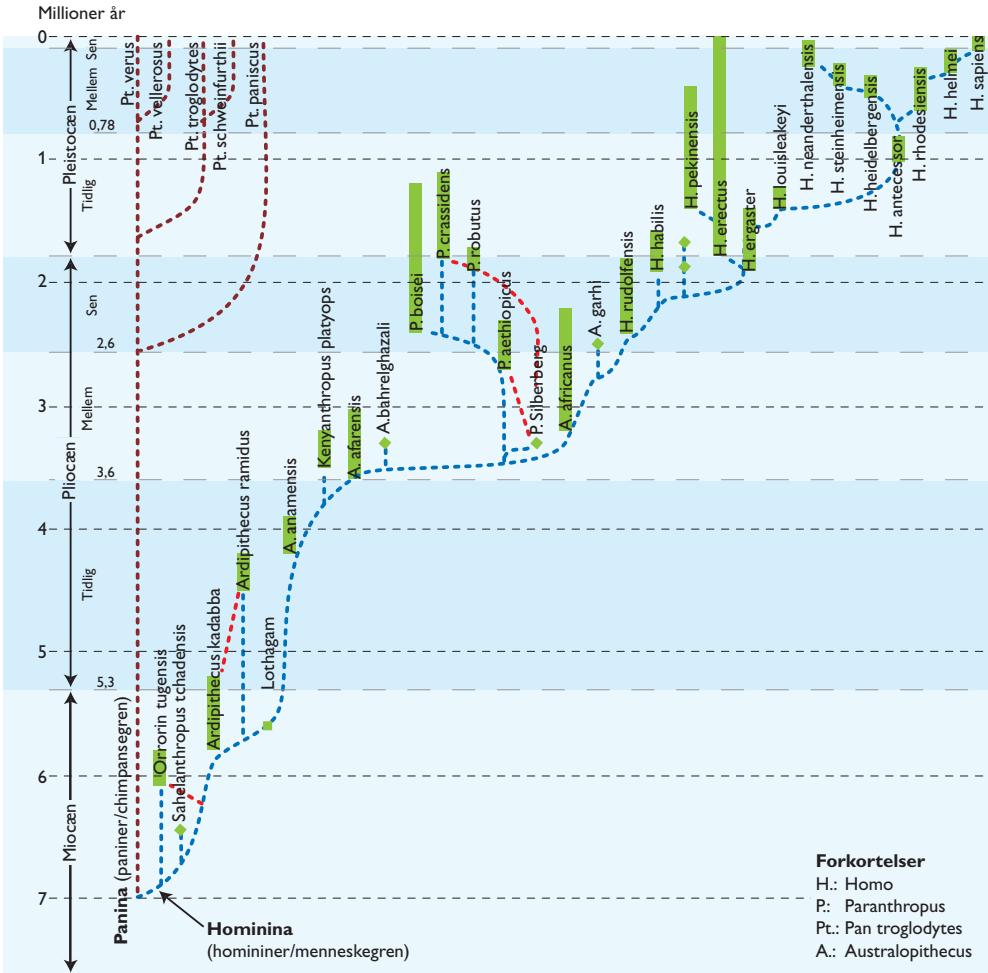
nismerne og arterne bruger til at sætte fart på tilpasningen. Én af dem blev opdaget af den amerikanske molekylærbiolog Barbara

udvekslingsmuligheder, som benytter sig af alle mulige tricks – lige fra øgede mutationsfrekvenser i de enkelte aminosyrer over større udskiftninger af DNA-stumper til kæmpe omstruktureringer i hele genomet.

Også den kulturelle læreproces er typisk lamarckistisk, eller i hvert fald “Waddingtoniansk”. Mennesker lærer f.eks. at betjene en telefon efter ganske få opringninger, forældre lærer deres børn at børste tænder osv. Menneskets adfærd og kultur er således ikke kun et resultat af blinde evolutionære kræfter, der virker på *Homo sapiens sapiens*, men også et resultat af de aktive valg, vi mennesker foretager os. Og det er måske først i nyere tid, at disse valg, i hvert fald for menneskets vedkommende, er blevet til bevidste valg. Den engelske biolog Richard Dawkins (f. 1941) har f.eks. leget med tanken om, at der findes en enhed, hvormed kulturel læring overføres, som han i 1976 kaldte en “meme”. Eksempler på memer er talte og skrevne sætninger, f.eks. slogans, men også billeder, musik, teater, film, sociale koder osv. Tanken er, at jo mere en bestemt færdighed bruges, jo mere pres vil der komme på en genetisk udvælgelse, der fremmer denne færdighed. Nogle af de ældste meme-teknologier, som f.eks. gestikulation og sprogfærdigheder, er ifølge den amerikanske lingvist Steven Pinker (f. 1954) blevet delvist instinktive i løbet af de sidste par millioner år.

## Out of Africa

Allerede Darwin havde ment, at mennesket måske stammede fra Afrika, men det var først i 1950’erne, at palæoantropologer fandt tilstrækkeligt med fossiler til at kunne bekræfte hypotesen. Indtil da havde man haft mere tillid til Ernst Haeckels teori om, at menneskets oprindelse snarere skulle findes i Asien, hvilket løbende var blevet bekræftet af flere fossilfund, f.eks. fundet af ”Pekingmanden” af arten *Homo erectus* omkring 1930 i nærheden af Beijing. Men i 1959 fandt Louis S.B. Leakey (1903-72) og Mary Leaky (1913-96) en 1,75 millioner år gammel hjerneskal i Tanzania fra en ukendt menneskeart. Vedkommende havde haft en stor hjerne og fremstillet forskellige værktøjer af sten. Han blev døbt *Homo habilis* og bekræftede en tidligere teori fra 1924 om, at afrikanske fund måske bedre kunne indgå som det bindeled, ”missing link”, mellem abe og menneske, man stadig manglede. Men det var klart, at den populariserede ”missing link”-ide i høj grad baserede sig på en misforståelse af primaters udvikling. Selvom biologer konstruerer idealtypiske



artsbetegnelser, som f.eks. *Australopithecus africanus* eller *Homo ergaster*, ud fra nogle statistiske betragtninger om forskelle og ligheder imellem morfologiske og geografiske kendte tegn, så er der ikke tale om ”overgangsformer” fra abe til mennesker, men om en bred vifte af kendte og endnu ukendte fælles forfædre, som mennesket har sammen med andre primater, menneskeaber og abemennesker. Man vil altså ikke kunne finde forstenede mellemformer imellem chimpanseen og mennesket af den simple grund, at de har udviklet sig hver for sig fra en fælles stamform.

I 1975 viste de to amerikanske biologer Mary-Claire King (f. 1946) og Allan Wilson (1934-91), at menneskets DNA er identisk med chimpansernes DNA med 98,5 procents nøjagtighed. Det vil sige, at kun 1,5 procent af vores genetiske materiale adskiller mennesket fra dets nærmeste

◀ At argumentere for et “missing link” som en mellemting mellem en ape og et menneske er som at argumentere for en luftbro mellem de forskellige grene på denne illustration. Nogle forskere mener, at adskillelsen mellem de store aber og “homininerne” sandsynligvis skete for ca. 7 millioner år siden. De ældste fossiler af arten *Homo sapiens sapiens* er ca. 120.000 år gamle.

ste slægtning, chimpansen. Ved hjælp af Motoo Kermuras hypotese om, at organismers samlede genetiske mutationsrate er mere eller mindre konstant igennem evolutionshistorien, kaldet “det molekylære ur” betyder det, at tidspunktet, hvor *Homo sapiens* og chimpansernes evolutionære veje skiltes, muligvis befinner sig ca. syv millioner år tilbage i tiden. Hvilke omverdensomstændigheder, der gjorde, at Homo-slægten udviklede sig i retning af mennesket,

er svært at finde ud af, men den dag i dag finder forskere stadig nye underarter og forgreninger i vores stamtræ.

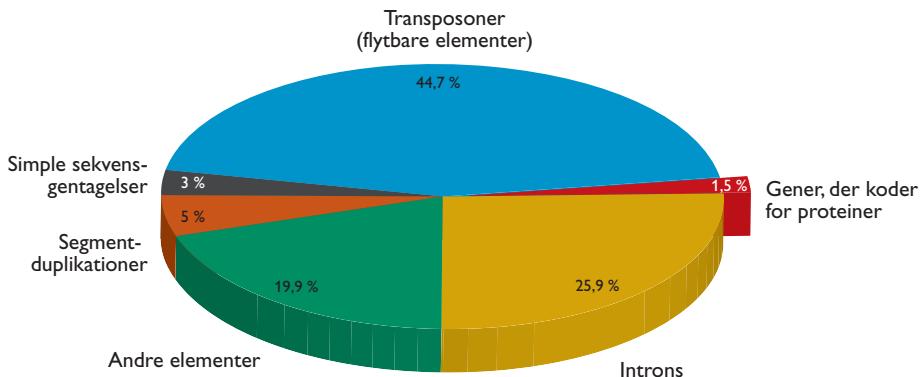
Man mener, at alle levende mennesker i dag er efterkommere af blot en enkelt gren i den store busk af menneskelignende og abelignende arter, der er opstået og har levet på jorden de sidste mange millioner år. Det anatomisk moderne menneske opstod for omkring 40.000 år siden, ca. samtidig med at neandertalerne langsomt var ved at forsvinde, og Cro-Magnon-kulturen opstod. En ret sandsynlig hypotese for det anatomisk moderne menneskes oprindelse er, at det nedstammer fra en enkelt population på måske kun 200.000 individer, der levede på den afrikanske savanne for ikke mere end 100-50.000 år siden. Derefter bredte den sig til forskellige egne af koden, først Asien og derefter Europa, Australien og Amerika, hvor den fortrængte og udkonkurrerede alle andre efterkommere af *Homo erectus*, inklusive neandertalerne. En konkurrerende teori, kaldet den multiregionale model, går ud fra, at de regionale befolkninger udvikledes parallelt i forskellige dele af verden og blandede sig hyppigt med hinanden, hvilket forhindrede afgørende forskelle i den samlede population, og derfor kom alle mennesker på jorden mere eller mindre til at ligne hinanden.

Man kan endda iagttage en lang række ændringer i det anatomisk moderne menneske, der er resultatet af den naturlige selektion. Der er store forskelle på f.eks. kindtænderne, og vi har i dag en meget mindre robust kropsbygning end tidligere. Det anslås, at ansigtet, kæbepartiet og tænderne på mennesker for blot 10.000 år siden i gennemsnit var 10 procent mere robuste, mens mennesker fra palæolitisk tid, dvs. for ca. 30.000 år siden, var 20-30 procent mere robuste. De australske aboriginals har f.eks. mere arkaisk udseende tænder, mens de mindste tandstørrelser i dag kan findes i områder, hvor levnedsmiddelforarbejdende teknologier har været brugt i længst tid.

Her er der vel at mærke tale om geografiske variationer, og ikke om racer. Nye genetiske data fra det Internationale Humane Genom Projekt gendriver enhver ide om, at der findes reelle menneskeracer, forstået som genetisk adskilte populationer. Der synes ganske enkelt ikke at eksistere nogen genetisk variant, som besiddes af alle individer i én population, men som er ukendt i en anden. Derfor kan man heller ikke trække nogen skarp grænse mellem populationsgrupperne. Der findes forskellige frekvenser af genetiske variationer, som f.eks. visse gen-variante, der sænker sandsynligheden for alkoholisme, og som synes at være mere hyppige i østasiatiske populationer end i de europæiske eller afrikanske populationer. Men bortset fra sådanne undtagelser findes langt størstedelen af menneskets genetiske variation i den fælles genetiske "pool", hvilket heller ikke er overraskende i lyset af den relative korte tid, det anatomisk moderne menneske har levet uden for Afrika.

I 2001 var de internationale medier fyldt med historier om det Humane Genom Projekt, der havde kortlagt den menneskelige arvemasse. Men det var kun en råskitse, man havde fået lavet, og først i 2003 var 99,9 procent af det totale humane DNA blevet sekvenseret og offentligjort. På trods af de store overskrifter om det kommende genteknologiske århundrede var det slet ikke klart hvilke nye erkendelser, de nye informationer umiddelbart kunne føre til. Hvad kunne den eksakte sammensætning af menneskets genetiske kode egentlig fortælle om vores plads i dyreriget og om vores udvikling igennem evolutionshistorien? Hvordan kunne de tænkes at bidrage til at udvikle ny medicin og måske en mere individualiseret sygdomsbehandling? Og hvilken betydning ville det have for samfundsudviklingen?

Det blev hurtigt klart, at antallet af gener, der kodede for proteiner, var meget lavere end tidligere antaget. Det viste sig, at det humane genom består af ca. 24.000 gener, dvs. kun dobbelt så mange, som der er i en bananflue. Det var en overraskelse for mange, fordi det tydeliggjorde, at levende organismer måtte forstås som en udfoldning af et generelt organiserende og meget komplekst program, hvor ikke alle livsfunktioner og egenskaber er kodet af specifikke gener, men i høj grad af generernes indbyrdes vekselvirkninger, af epigenetiske faktorer (dvs. dem, der er udenfor selve DNA'et), af morfologiske dynamikker, og af en meget indflydelsesrig omverden, som organismen øjensynligt hurtigt reagerer tilbage på. Troen på hurtigt at kunne udvikle specialiserede genterapier for specifikke sygdomme måtte derfor skrues til-



bage til et mere beskeden niveau, indtil man vidste mere om proteinstrukturer og deres interaktioner.

En anden vigtig evolutionær erkendelse var, at nye gener i høj grad opstår enten ved at blive kopieret fra gamle gener for så at mutere en smule og blive brugt i nye sammenhænge, eller direkte ved at blive importeret fra andre organismer. Hele ti procent af menneskets gener ligner meget, hvad man ellers finder i bakterier, og over fem procent af generne er opstået via segment-duplikationer, det vil sige kloning og genbrug fra eget DNA, hvilket er meget mere end hos f.eks. rotter eller mus. Det er blevet tolket som et bevis på, at menneskets genetiske materiale har været udsat for relativt mange funktionelle nyskabelser og strukturelle ændringer i løbet af de sidste 40 millioner år, hvilket formodentlig er et udtryk for de mange unikke karakteristika, der adskiller mennesket fra andre primater, og for at der har været stærke selektive kræfter på spil. Mange af de "nye" gener i mennesket viste sig at have betydning for det reproduktive system og for immunsystemet. Det var netop funktioner, som forskere i forvejen mistænkte for at have ændret sig i de seneste millioner af år. En del gener relatereret til lugtesansen viste sig også at være holdt op med at fungere ved at have ophobet dødelige mutationer, hvilket måske forklarer, hvorfor mennesker har en langt dårligere lugtesans end f.eks. gnavere, der har bibeholdt disse geners funktionalitet.

Det menneskelige genom er dog meget mere end et vindue til fortiden. De største videnskabelige gennembrud forventes at komme inden for læge-

Lagkagen viser komponenterne i den menneskelige arvemasse. Kun 1,5 procent af mere end 3 milliarder basepar koder for proteiner, hvorimod ca. 45 procent består af "parasitter", dvs. jumping genes og andre mobile elementer, kaldt transposoner, hvorfaf de fleste ikke længere er i brug . T.R. Gregory, fra *Nature Reviews Genetics*, vol. 6, 2005.

videnskaben. Mange store firmaer står på spring for at udvikle ægte “designer drugs”, som er skræddersyet til syge personers genetiske profil. Og endnu andre firmaer venter på at bruge genterapien konstruktivt, således at vi kan vælge vores eget og vores børns genetiske makeup meget mere frit, end tilfældet er i dag. Når og hvis det bliver en realitet, vil det have store konsekvenser for den måde, man vil forstå begreber som normalitet på, og det vil have stor betydning for, hvordan man vil organisere samfundet. Alt andet lige er det vist aldrig sket før i Jordens historie, at en art er begyndt at forstå sin egen genetiske kode – og er begyndt at agere aktivt og bevidst i forhold til denne viden. Ligesom den menneskelige kultur altid har haft brug for en natur – en “Moder Jord” – at udvikle sig i, har naturen og den naturlige udvælgelse altid haft brug for en slags feedback fra kulturen til at træffe de rigtige valg på. At menneskene nu langsomt selv begynder at træffe den slags valg ud fra en bevidsthed om deres resultater, må kaldes en ny evolutionær modus, en nyt biologisk trin, hvor natur og kultur for alvor er blevet ét, og hvor der er masser af nye muligheder og nye farer.

## Livets oprindelse

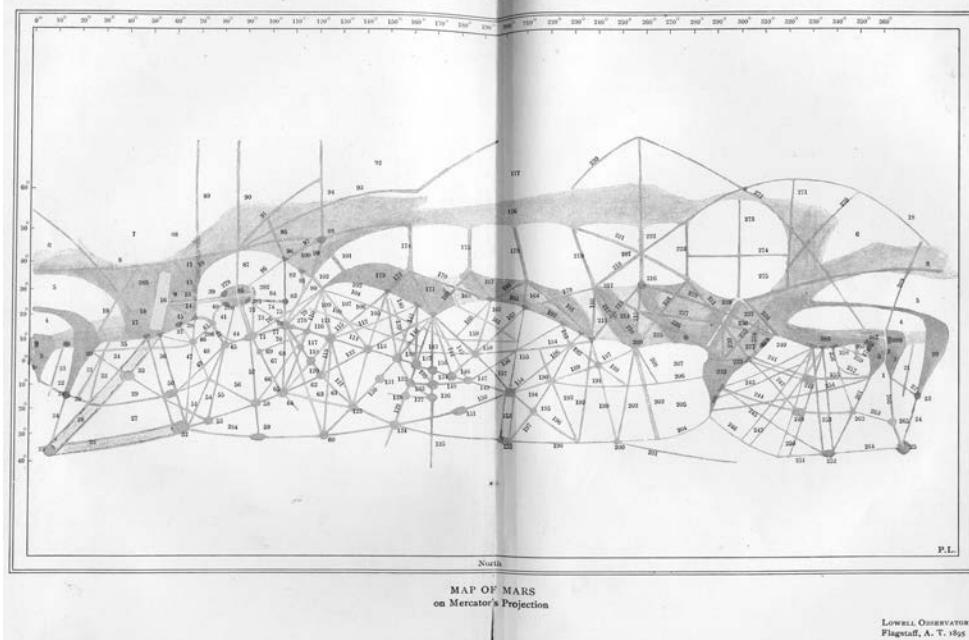
Den naturlige selektion er så alment et princip, at den ikke kun er anvendelig på eksisterende biologiske systemer og deres gradvise udvikling gennem historien. Den må også gælde for alle de ikke-levende systemer, der dannes og gendannes og udsættes for geologisk, fysisk eller anden udvælgelse. Den naturlige selektion må således også gælde for de mekanismer, der i tidernes morgen fik de døde atomer til at blive til levende væsner. Livets oprindelse måtte med andre ord ligge inden for evolutionsteoriens forklaringshorisont. Men det er stadig så som så med vores viden om livets oprindelse. Da Jorden blev dannet for ca. 4,5 milliarder år siden, var den udsat for tusinder af daglige meteornedslag, som med apokalyptiske brag kunne tilintetgøre oceaner og kontinenter. Der var intet levende, som kunne eksistere i dette glødende og svovldampende ragnarok. Men efterhånden kølede kloden af, og da den var ca. 700 millioner år gammel dukkede der nogle blågrønne alger op i oceanerne. Livet var begyndt. Men hvordan kunne noget så raffineret og veltilpasset som alger opstå af sig selv? Hvordan kunne døde atomer og livløse molekyler danne et så velspundet net af afhængigheder, som vi kalder en levende organisme?

Den første store naturvidenskabelige teori om livets oprindelse blev formuleret i midten af 1900-tallet af de amerikanske kemikere Stanley Miller (1930-2007) og Harold Urey (1893-1981). De ledte efter svarene ud fra kemien viden og metoder: store kolber blev fyldt med forskellige kemikalier og gasser, som man troede var til stede på Jorden og i atmosfæren for ca. fire milliarder år siden. Kemikalieblandingen, som blandt andet bestod af metan, ammoniak, vand og kuldioxid, blev utsat for voldsom rysten, hurtige temperaturændringer, lyn og torden. Da den efterfølgende analyse af stofferne i kolben viste spor af organisk materiale, følte man, at man havde fundet svaret. Ursuppeteorien var født. Selvfølgelig var der en masse løse ender, men man anså dem for sekundære problemer, som nok skulle blive løst med tiden. Men tiden har vist, at disse løse ender ved ursuppeteorien var så løse, at de i stedet er blevet brugt til at finde helt andre teorier om livets oprindelse. Blandt problemerne med ursuppeteorien var, at mange livsvigtige molekyler, såsom sukker, bestemte nukleotider og fedtstoffer, under ingen omstændigheder ville opstå i den lunkne grød. Et andet problem var, at godt nok dannedes mange organiske molekyler ved hjælp af de elektriske lynnedsLAG i kolben, men utsatte man suppen for et længerevarende ophold i Solen, nedbrød det ultraviolette lys meget hurtigt de organiske stoffer igen. De organiske molekyler forsvandt med andre ord lige så hurtigt, som de opstod.

Som et alternativ til ursuppeteorien placeerde den tyske kemiker

Kolberne brugt i Miller-Urey-eksperimentet. Den nederste kolbe skulle simulere oceanerne og den øverste atmosfæren. Lynnedslagene kom fra elektriske stød mellem de to elektroder, der forbinder kolberne. Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego.





Den amerikanske astronom Percival Lowell (1855-1916) mente, at Schiaparellis "kanaler" på Mars måtte være kunstigt anlagte irrigationsystemer, der havde til formål at udvinde vand fra iskapperne (som han troede eksisterede) og transportere det til de torre ækvatoriale områder. Omkring 1905 rapporterede amerikanske aviser jævnligt om de kanalbyggende marsianere. Her et af Lowells kort (i Mercators projektion) fra 1895. I dag mener de fleste forskere, at de observerede mørke linjer skyldes optiske illusioner pga. mørke lag af sten, der bliver synlige efter sandstorme.

Günther Wächtershäuser (f. 1938) livets opstæn på overfladen af svovlkiskrystaller tæt på varme undersøiske kilder. Han forestillede sig, at en kombination af jern, kuldioxid og svovlbrinte, bundet til overfladen af svovlkiskrystaller dybt nede i havet, kunne udvikle nye organiske molekyler såsom sukker. På overfladen af denne "præbiotiske pizza", hvor dannelsen af svovlkis kunne fri-

gøre nyttig energi, ville der muligvis kunne opstå nogle selvstændige semicellulære organismer, som på grund af en rig tilstrømning af mineraler og stoffer kunne udvikle et eget stofskifte og egne enzymer. Først langt senere, når processernes sofistikerede mekanik var blevet mere og mere udbygget, ville organismen langsomt kunne frigøre sig fra svovlkisen og bevæge ud i sit nyerhvervede frie liv. En lignende teori blev udviklet af englænderen Graham Cairns-Smith (f. 1931), der mente, at livet i begyndelsen udfoldede sig i simple lerkrystaller. Idet lerklumperne vokser og brækker over i én uendelighed, kan de bære informationer videre gennem tid og rum. Stofferne inde i lerkrystallernes hulrum ville så kunne overleve, have held



med at formere sig og blive langsomt mere komplicerede. Først langt senere i historien kunne det genetiske maskineri overtage lerkrystallernes funktioner og befri sig fra tilværelsen i mudderet.

En sidste og stadig mere populær teori om livets oprindelse går ud fra, at livet kommer fra det ydre rum – at Jordkloden med andre ord er blevet inkuberet med levende organismer fra andre planeter. Mars har altid været ønskekandidaten. Allerede i forrige århundrede fremsattes flere teorier om marsmænd og højtudviklede civilisationer. En af årsagerne var den italienske astronom Giovanni Schiaparelli (1835-1910), som havde observeret nogle “canali” på overfladen. Betegnelsen “kanaler” fik folk til at tro, at de var kunstigt skabt. Teorier om marsiansk landbrug og krigeriske invasioner levede langt ind i vort århundrede, og selvom forskere forlængst havde vist, at overfladen på Mars var en kæmpe dybfryser, hvor de fleste luftarter havde forladt atmosfæren på grund af den lave tyngdekraft, forblev myten om marsmænd en

I 1996 fremlagde en gruppe af forskere fra det amerikanske rumforskningsagentur NASA såkaldte “beviser” for, at der har eksisteret mikrober på Mars. En sten, der var blevet slynget ud af Mars’ tyngdefelt og landet i Antarktis, viste sig at indeholde polycycliske aromatiske hydrokarboner (pah’er), som typisk findes i kul, petroleum og bakterier, og som langsomt fossileres i den proces, hvor sten dannes. Stenen indeholdt også små aflange karbonatlommer, som kan ses på billedet her, der muligvis indeholder rigtige fossiler ikke større end en milliontedel af en millimeter i omfang. Opdagelsen skabte store overskrifter og nye bevillinger til NASA, men efterhånden er der få tilbage, som tror, at stenen vitterligt indeholder rester af liv fra Mars.

hårdnakket bestanddel af folkefortællinger og skønlitteratur, hvoraf den vel nok mest kendte er H.G. Wells' (1866-1946) roman *Klodernes Kamp*.

Men også seriøse forskere har forgæves ledt efter liv på Mars. I 1960'erne blev en meteor fra Orgueil-nedslaget i 1864 i Frankrig meget berømt. I dens indre fandt man en stor mængde organiske molekyler, som man antog for at være mikroskopiske fossiler. Det var de ikke. Et af dem var et brandbægerpollen og et andet simpel aske. En anden meteor, som styrtede ned i den australske ørken i 1969, indeholdt mere end 50 forskellige aminosyrer (mennesket behøver 20), hvilket fik astronomer til at lytte efter organiske molekylers svingninger i rummet. Siden da har man forskellige steder i universet opdaget både myresyre, alkohol og endda eddike. Da rumskibet *Viking* landede på Mars i midten af 1970'erne for at undersøge overfladen for mulige livsformer, troede man også en kort overgang, at der myldrede med liv. Det gjorde der ikke. De gasser, der udvikledes under eksperimenterne, viste sig ved nærmere undersøgelse ikke at stamme fra biologiske processer, men fra den stærke ultraviolette stråling, som på den atmosfæreløse Marsoverflade kan nedbryde næsten hvad som helst. Hele NASA's rumforskningsprogram fik en næse og blev stærkt nedprioriteret i de følgende år.

Men i kemikernes søgen efter livets byggesten var der et yderligere problem at forholde sig til. Det er det klassiske problem om "hønen og ægget", som kan illustreres sådan her: ligesom vi mennesker har brug for sofistikeret værktøj til at bygge en fabrik, har vi brug for en fabrik til at producere værktøjet. Hvad kom først? Med hensyn til en organisme bliver problemet åbenlyst, når vi tænker på DNA som livets fundamentale byggesten. DNA kan ikke fungere og nedarves uden et perfekt maskineri, som producerer proteiner, celler og kroppe, der kan bevæge sig igennem tid og rum og være en sikker transportbeholder for DNA. Hvad kom først? Kom informationskoden først (i form af den enstrengede version af DNA, kaldet RNA), eller kom maskineriet, proteinerne og stofskiftet først?

Det er først i løbet af 1970'erne og 80'erne, at man er begyndt at løse nogle af problemerne omkring oprindelsen af biologiske livsprocesser. Det er bl.a. sket gennem den nyerhvervede viden om såkaldt selvorganiserende og adaptive komplekse systemer, som i høj grad er kommet i stand gennem en øget accept af tværvidenskabelige tilgange til den slags problemer, hvor grænselandet mellem biologi, kemi, fysik og matematik – som oftest ved

hjælp af computersimulationer – kan væves sammen til langt mere abstrakte, men også langt mere udsigelsesrige teoretiske modeller.

## Fra designargumenter til selvorganisering

Det evolutionære princip om variation og tilpasning er ikke kun anvendeligt på arter, men på alt fra atomer over social kommunikation til universet som sådan. Det er en designproces uden en designer. Det bibeholder kun de atomer, de molekyler og de komplekse strukturer, som er tilpas fleksible og udskiftelige, idet de altid skal kunne tilpasse sig en omverden. En umiddelbar tanke er så, at hvis fleksibilitet og udskiftelighed er et afgørende kriterium for et vindende design, så er det fordi den allervigtigste egenskab for bibeholdelsen af liv ikke er materialet, det er lavet af, men formen. Og form er information. Én af hovedideerne i evolutionsteorien er tanken om den kontinuerte bevarelse af information gennem generationerne, ligegyldigt hvilket materiale der bærer budskabet. Derfor er der i løbet af den sidste halvdel af det 20. århundrede dukket flere og flere teorier op, som ikke fokuserer på byggematerialet, men i stedet kigger på de strukturelle og dynamiske processer, som kunne ligge til grund for komplekse systemers opståen og udvikling. Man spekulerer over de mulige arkitektoniske principper og de selvorganiserende netværk, som i kølvandet på kompleksitetsforskningen og forskningen i ikke-linearitet har kunnet finde en passende matematisk udtryksform. Man taler om emergens af nye kvaliteter og om autopoiesis, dvs. om materiens evne til selv at komme til live.

Allerede i 1910 foreslog den østrigskfødte matematiker og biolog Alfred Lotka (1880-1949) en hypotetisk kemisk reaktion, som han mente ville udvise periodiske svingninger. Men da den amerikanske kemiker William C. Bray (1879-1946) i 1921 som den første så sådanne svingninger i et kemisk eksperiment og offentliggjorde resultatet, var der ingen, der troede på ham. Man mente ikke, at fænomenet var foreneligt med termodynamikkens anden lov, idet dogmet jo var, at alle kemiske reaktioner uundgåeligt måtte bevæge sig hen imod den højest mulige grad af entropi, dvs. den højeste grad af "uorden". Stabile svingninger, endsige mønstre, i kemiske blandinger – det kunne ikke eksistere. Først langt senere blev man klar over, at disse fænomener sagtens kan forenes med termodynamikken. De kemiske og biologiske processer skal blot være langt fra en termodynamisk ligevægt. Når der f.eks.

er en vedvarende stofomsætning, og der hele tiden produceres affaldsstoffer og kommer nye forsyninger til, kan mønstre og svingninger opretholdes visse steder, mens den entropiske “uorden” placeres i affaldsstofferne. Den første grundige beskrivelse af dette blev givet af belgieren Ilya Prigogine (1917-2003), der i 1977 fik nobelprisen i kemi for sit arbejde med det, han kaldte dissipative strukturer.

De mest simple ikke-ligevægtsfænomener er svingninger, simple oscillationer i tid og rum. Og det har vist sig, at netop svingninger typisk er det første trin hen imod de meget mere komplekse og dynamiske fænomener, som man sædvanligvis karakteriserer som livsprocesser. Men der skulle gå mange år, før naturvidenskaben kunne acceptere, at sådanne formodede “perpetua mobila” – dvs. pseudo-evighedsmaskiner, da der jo er tale om vedvarende stofomsætning – faktisk var i overensstemmelse med etableret viden om fysik, kemi og biologi. Den russiske kemiker Boris P. Belousov (1893-1970) opdagede f.eks. i 1951 nogle voldsomme oscillationer i antallet af cerium-ioner i sin kolbe, da han brugte dem til at oxidere citronsyre med. Artiklen blev frådende afvist af tidsskriftsredaktørerne, og først i 1958 kunne han offentliggøre sine fund gemt langt væk i mødereferaterne fra en obskur russisk lægekongres.

Lidt bedre gik det for den engelske matematiker Alan Turing (1912-54), der i 1952 fremsatte den første realistiske model for spontan rumlig mønsterdannelse ud fra vekselvirkningen mellem kemiske reaktioner og almindelig diffusion. Turing mente, at hans model kunne anvendes til at forklare de mange mønstre og former, som man kunne finde i blomster- og dyreverdenen. Som en meget simpel model forestillede han sig, at to stoffer kommer i berøring med hinanden og reagerer på en sådan måde, at et af stofferne dannes igen (og faktisk i en højere mængde, end der var fra start – det er det, man kalder autokatalyse), mens det andet stof forbruges normalt. Dette giver en selvforstærkende effekt, som ville eskalere, hvis der ikke var en hæmmende faktor. Ekspllosionen af dynamit er et godt eksempel på en selvforstærkende reaktion, idet det her er ilt, der forbruges, og varme der dannes, og da nye forsyninger af ilt umiddelbart er tilgængelige fra luften, kan reaktionen fortsætte og løbe løbsk, hvis der ikke er en hæmmende faktor. Denne faktor kan være mangel på nye stoffer (med hensyn til dynamitten er det dynamitten selv), men den kan også i tilfælde af mindre reaktive kemikalier (som farvepigmenter) være simpel diffusion. Diffusion er den spred-



ningsproces, som får en dråbe blæk til at forde sig ligeligt i et badekar med vand. Mønsterdannelse opstår altså ud fra selvforstærkende reaktioner og diffusion, og hvis der tilmed altid kommer friske forsyninger af stoffer – dem som f.eks. sommerfugle og snegleskaller producerer ustændsigt – kan resultatet blive et ret stabilt mønster af pigmenter.

I dag kaldes den slags mønstre for Turingstrukturer. De opstår spontant og er selvorganiserede. Der er ikke brug for nogen gener, som koder for de enkelte dele af strukturen. Tværtimod er hele systemet, hele opsætningen, en betingelse for skabelsen af mønstre, og omvendt er mønstrene en nødvendig følge af helt basale fysisk-kemiske vekselvirkninger. Det er sandsynligt, at de ligger til grund for en hel række mønsterdannelsesprocesser som f.eks. mønstrene på pattedyrs skind, snegleskaller og fisk, ligesom de tænkes at bidrage til styring af fostres udviklingsmekanismer og til celledeling. Turingstrukturer er også blevet anvendt til at

Snegleskaller vokser ikke ligesom, når man puster en ballon op, men snarere som en en-dimensional proces, fra top til bund, med det ene lag efter det andet. Kun ved kanten af skallen kan nye elementer af mønstrets pigmenter dannes, og derfor henviser ethvert punkt på skallen til et bestemt tidspunkt i dens tilblivelse. Skallen er derfor et storknet historisk aftryk af den dynamiske mekanisme, som har dannet den i første instans. På billedet ses en computerfrembragt Turingstruktur, der svarer til mønstret på snegleskallen i forgrunden. Springer Science and Business Media.

forstå dannelsen af geologiske formationer og spredning af epidemier. De kan således ses som et generelt mønsterdannende princip, hvor man kan tale om emergens, en tilsynskomst af egenskaber, der netop ikke lå i det foreliggende stof fra starten. Alan Turing sagde selv, at han ligesom Darwin ønskede at ”overvinde design-argumentet”, med hvilket Thomas Aquinas (1225-74) havde ment at kunne bevise, at der lå en intelligent bevidsthed bag livets form og virke (s. 66). Turings arbejde med Turingstrukturer og de mange efterfølgende modeller for ikke-lineære systemer, dissipative strukturer og autokatalytiske netværk har grundigt udhulet designargumenterne i idehistorien og gjort udviklingsbiologien og kompleksitetsforskningen til veletablerede videnskabelige discipliner, hvor et utal af computermodeller og laboratorieeksperimenter lader mønsterdannelse og selvorganisering finde sted.

## Teorier om spil, spas og samarbejde

Mod midten af 1900-tallet begyndte biologer at opdage, at der fandtes endnu et hidtil overset, men meget vigtigt element i udviklingen af den biologiske mangfoldighed, et element, som umiddelbart forekom at være i modstrid med den dominerende forståelse af darwinismen, der fokuserede på konkurrence og de stærkes overlevelse. Dette element var kooperation. Det vil sige et gensidigt samarbejde, hvor to arter drager fordel af hinanden, ofte i så høj grad, at der udvikles en form for symbiose mellem dem. Det viste sig, at naturen svælger i symbiose og samarbejde, både inden for en art og arterne imellem. Fisk får gratis rengøring af små rejer, der spiser parumperne på deres hud. Søanemoner giver havdyr et sikkert tilholdssted til gengæld for føde. Med nektar og pollen lokker blomster insekter til, for at planterne kan bestøves. De fleste planter er også afhængige af svampe, der lever af deres rødder, men til gengæld giver dem mineraler og næringsstoffer. Græssende pattedyr ville ikke kunne fordoje deres føde uden bakterier i deres maver. Også mennesker viser sig at være symbiotiske væsner. Bakterier lever i vores hud og i vores indre organer og påtager sig mange gavnlige opgaver: de holder farlige mikrober ude, hjælper med forøjelsen og producerer vitaminer. Den teoretiske biolog Lynn Margulis (f. 1938) fremsatte i 1967 den teori, at menneskets mitokondrier, og i øvrigt også alle andre eukaryotiske (dvs. kerneindeholdende) cellers mitokondrier, oprindeligt var nogle frit levende bakterier, som på et eller andet tidspunkt i evolutionshistorien gik i symbiose med andre cel-

ler via en arbejdsdeling: mens mitokondrierne forbrændte organisk materiale ved hjælp af ilt, kunne de andre celler producere og fremskaffe føden.

Men hvordan kan det være, at individer, som burde kæmpe mod hinanden for at øge deres chance for overlevelse, indgår i komplicerede samarbejder og symbiose, lader sig udnytte af andre og endda engagerer sig åbenlyst i almenvellet? Igen viste det sig, at matematikken kunne hjælpe i form af den såkaldte matematiske spilteori. Kort fortalt vurderer spilteorien, hvilken strategi en aktør i konkurrence med andre aktører bør benytte for at opnå det bedst mulige resultat. I modsætning til traditionelle evolutionære (og økonomiske) teorier fokuserer spilteorien således på, at den enkelte aktørs optimale strategi i høj grad også er afhængig af de andre aktørers strategier.

Spilteorien blev formelt formulert for første gang af John von Neumann (1903-57) og Oskar Morgenstern (1902-77) i 1944. I løbet af 1950'erne var det især John Nash (f. 1928), der videreudviklede teorien. Allerede i 1970'erne var den blevet et af de vigtigste redskaber i matematisk analyse, og i løbet af 1980'erne og 90'erne udvidede dens anvendelsesområder sig til en lang række andre discipliner såsom økonomi, biologi – især i forhold til evolution, økologi, antropologi, psykologi og politisk videnskab. Også samfundstænkning i bredere forstand har set muligheder i spilteorien. Allerede i 1651 stillede den engelske filosof Thomas Hobbes (1588-1679) sig selv det åbenlyst spil-teoretiske spørgsmål: "Hvordan kan egoister opnå fred og fremgang?" Eftersom to egoister aldrig kan stole på hinanden, var det tydeligt for Hobbes, at det måtte ende grueligt galt. For egoister, der kun var ansvarlige for sig selv, kunne livet kun være alles kamp mod alle. Men Hobbes så en udvej. Hvis man kunne frembringe en situation, hvor handlinger, der var til skade for andre, var forbundet med sanktioner, kunne man få selv egoister til at opføre sig påent. Løsningen for Hobbes var oplagt: alle egoister skulle overgive deres frihed til en magtfuld stat. Selvom man kan sige mangt og meget om Hobbes løsningside, sådan som han formulerede den i *Leviathan*, er analysens matematiske kerne spilteoretisk, eftersom den understreger, at den enkeltes optimale strategi afhænger af andre individers strategier.

Praktisk spilteori har dog eksisteret i lang tid før Hobbes. Omkring 500 år f.v.t. havde jøderne i Babylon f.eks. faste regler for, hvordan ægtemænds formue skulle fordeles blandt deres koner i tilfælde af mandens død. Havde en mand efterladt tre koner, og stod der i ægteskabskontrakten, at hans formue skulle deles i forholdet 1:2:3, så foreskrev det religiøse skrift *Talmud*, at

disse proportioner skulle overholdes så præcist som muligt. Ejede han kun 100 penge-enheder, foreslog Talmud dog, at pengene skulle fordeles ligeligt blandt dem alle tre. Men ejede han 200, skulle pengene fordeles efter den mærkelige formel 50, 75 og 75, altså som en lige deling mellem de to sidste koner, mens den første fik en smule mindre. Denne forskrift har forbløffet Talmud-eksperter i over 2000 år. Men i 1985 opdagede nogle matematikere, at Talmuds forskrifter og love forudså resultaterne af den moderne spilteori, idet hver enkelt forskrift minimerer den maksimale dominans af en hvilken som helst koalition blandt konerne.

En underliggende præmis for den matematiske spilteori er altså, at de agenter, spillere eller personer, der skal vælge mellem flere handlinger, skal opføre sig rationelt i forhold til et givent sæt af omstændigheder og præferencer. Problemet er dog, at mennesker ikke altid er rationelle. Et andet pro-

blem er, at rationalitet i snæver forstand kan resultere i ganske grusomme konsekvenser. I Hobbes' almægtige stat er resultatet af rationelle argumenter tyranni. Man må derfor være påpasselig med at an-

Frontispice fra Thomas Hobbes' *Leviathan* (1651). Leviathan er den enevældige hersker, hvis symboliske krop udgøres af hele folket. Hobbes' bog er et forsøg på at løse det spilteoretiske dilemma om, hvordan mennesker, der grundlæggende er som "ulv mod ulv" mod hinanden, nogensinde kan leve fredeligt sammen.



vende spilteori i f.eks. politik. Også i spørgsmål omkring miljø, sundhed, risikovurdering og ledelse er spilteori problematisk. Rationel miljøpolitik kunne jo betyde, at man i stedet for at passe på grundvandet blot opstillede flere kemiske rensningsanlæg. Rationelt, billigt, og så kan man svine lystigt videre.

Som man kan se, er mange sociale og individuelle valg betinget af værdier, som ikke kan prissættes i klassisk rationel forstand. Disse såkaldte “eksternaliteter” kan spilteori ikke umiddelbart sige noget fornuftigt om. Men der findes en lang række områder, hvor spilteorien har vist sig at være særlig anvendelig og meningsgivende. I situationer, hvor man vitterligt kan tale om rationelle agenter, eller hvor det handler om agenters “blinde søgning” igennem nogle evolutionære tilpasningsprocesser, har spilteorien fremvist forbavsende resultater. F.eks. formulerede William D. Hamilton (1936-2000) i 1960’erne en evolutionær spilteori, som kunne forklare, hvorfor ellers “selviske” gener i mange tilfælde også engagerer sig i samarbejde, hvis det fremmer deres egen overlevelse. Fænomenet blev kaldt kin-selektion eller “inklusiv fitness” og har at gøre med noget så simpelt som at sprede sine gener mest effektivt. En organismes gener eksisterer nemlig ikke kun i organismen selv, de eksisterer også i dens twillinger, søskende, fætre og kusiner og så fremdeles ned ad slægtstavlen. At hjælpe sin familie giver således god mening ud fra et genetisk perspektiv. Desuden viste spilteoretikeren Robert Axelrod (f. 1943) i begyndelsen af 1980’erne, at en direkte og vedvarende vekselvirkning mellem to eller flere ellers uafhængige individer sagtens kan medføre et stabilt og tillidsfuldt samarbejde i det lange løb. Og hvis samarbejde virkelig er så fremherskende og fornuftigt, spekulerede Axelrod, er det muligvis blevet indbygget i mennesket som instinkt. En teori om konflikt kan altså også udlægges som en teori om samarbejde.

Den amerikanske biolog Robert Trivers (f. 1943) var også en vigtig skikkelse i den slags anvendelser af den evolutionære spilteori på sociale arters adfærd. Hans teori om den “omvendte altruisme”, der bedst kan karakteriseres som en slags handelsaftale mellem to eller flere parter, kunne give en lang række plausible forklaringer på, hvordan samarbejde kan opstå og manifestere sig i en gruppe af total-egoister. I en verden, hvor der findes utallige venner og fjender, er det vigtigt at danne strategiske alliance. Den omvendte altruisme viste sig derfor at være en endnu mere sofistikeret variant af kin-selektionen, fordi den var afhængig af vores evne til at forudse og påvirke andres handlinger. Jo mere social fleksibel og vidtskuende et individ

er, jo bedre kan det snyde og modgå snyd fra andre. Og desuden: da den bedste løgn er den, som man selv tror på, har Trivers foreslægt, at den naturlige udvælgelse har “designet” den menneskelige hjerne til effektivt at kunne bedrage sig selv.

## • Fangedilemmaet

To mennesker er mistænkt for et indbrud. De placeres af politiet i to forskellige cel-ler, hvor de ikke kan tale med hinanden. Po-litiet har ikke nok beviser til at overbevise dommeren om deres skyld og tilbyder der-for hver af dem en handel: hvis du tilstår og vidner mod den anden, kan du gå fri, mens den anden får en lang straf, hvis han vel at mærke intet siger. Hvis ingen af dem tilstår, vil de begge få en mildere straf, og hvis de begge tilstår, vil de få en lang straf, men ikke så lang som i det første tilfælde.

Fangedilemmaet illustrerer kernen i pro-bлемet med samarbejde. Lad os gå væk fra fængselssammenhængen og oversætte det til et simpelt spil. Det handler om at få så mange point som muligt:

	Samarbejde	Modarbejde
Samarbejde	3	0
Modarbejde	5	1

Hvis jeg samarbejder, kan du få 3 point, hvis du også samarbejder, men 5 point hvis du ikke samarbejder. Hvis jeg modarbejder, kan du få 0 point, hvis du samarbejder, men 1 point hvis du også modarbejder. Derfor, li-gegyligt hvad jeg gør, er det bedre for dig ikke at samarbejde. Den mest “rationelle” – dvs. den mest sikre strategi – er ikke at samarbejde. Hvis jeg analyserer situationen på samme måde, som du gør, vil vi begge la-de være med at samarbejde og begge få 1 point, selvom vi begge potentielt kunne ha-ve fået 3 point, hvis vi havde samarbejdet.

Rationel handling fører til et dårligt resultat. Det er dilemmaet.

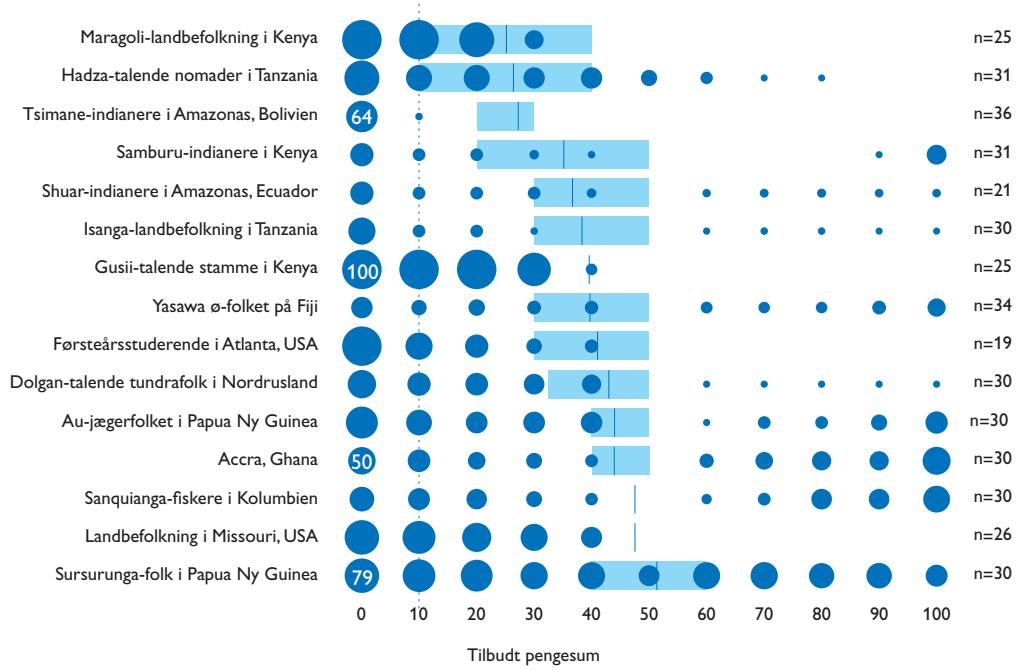
I det gentagede fangedilemma, hvor det samme spil gentages uendeligt mange gange, ser tingene anderledes ud. Nu kan man ud-vikle strategier, alt efter hvad den anden gjorde tidligere. I den situation viser det sig, at samarbejde til at starte med opstår som tit for tat (TFT) – det er en strategi, der starter med at samarbejde, men derefter gør mod modstanderen, hvad vedkommende selv gjorde i forrige træk. Den berømte spilteo-retiker Robert Axelrod inviterede folk i 1978 til at sende ham forskellige strategier, som så kunne konkurrere mod hinanden på compu-teren. Tit for tat vandt i flere omgange.

Men TFT har en akilleshæl: den reagerer alt for kompromisløst på fejl. I en realistisk verden vil spil altid indeholde utilsigtede fejl, uheld og misforståelser. I en sådan situati-on vil TFT langsomt tabe til en generøs ud-gave af TFT, kaldet GTFT, som har en lille sandsynlighed for samarbejde, selvom mod-standeren i forrige træk ikke samarbejdede. Men også GTFT vil langsomt tabe til “win-stay, lose-shift”-strategien (WSLS), som er den ultimative opportunist: “Hvis jeg sid-ste gang fik mange point, enten tre eller fem point, vil jeg fortsætte sådan. Hvis jeg der-imod fik få point, enten nul eller et point, vil jeg prøve noget nyt.” Både GTFT og WSLS kan lave fejl, men kan til gengæld også tilgive (og udnytte) den andens fejl, og de er der-for i det lange løb mere succesrige end alle andre strategier.

## Evolutionær psykologi

Teorierne om kin-selektion og omvendt altruisme har været nogle af de vigtigste grundpiller for den biologiske adfærdsforskning, som den kom til at forme sig op igennem den sidste fjerdedel af 1900-tallet. Den amerikanske biolog Edward O. Wilsons (f. 1929) klassiker *Sociobiology* fra 1975, der populariserede Hamiltons og Trivers' ideer, landede således som en granat i 1970'ernes politiske klima, der primært så mennesket som et socialt væsen, som kan formes i alle retninger ved hjælp af det rette miljø og den rette opdragelse. Pludselig var det de skæbnetunge gener, som var i centrum. De havde deres eget liv og var selviske, blev det sagt, og enhver altruistisk handling var blot en mere forfinet form for egoisme.

Darwin sagde engang, at "synet af en påfugl gör mig syg". Han forstod ikke, hvordan den naturlige udvælgelse kunne finde på at lave en så barok tingest som en påfuglehale. Hans teori om den naturlige udvælgelse forklarede fint, hvorfor isbjørne har tykt skind, eller hvorfor fuglenæb har den form, de har. Men den forklarede ikke eksistensen af al den extravaganza, alt det blær og overdreven staffage, der findes i dyrs og planters ekipering. Hvorfor skal kronhjorte absolut bære rundt på et 15 kg tungt gevir, og hvorfor findes der så mange popsmarte mønstre på billers skjolde? Det blev hurtigt klart for biologerne, at denne gruppe af fænomener også kunne forklares som konsekvens af de nye spilteoretiske modeller. Et helt nyt og tværvidenskabeligt forskningsfelt udvikledes således i slutningen af 1900-tallet under fællesbetegnelsen "evolutionær psykologi" – et begreb, der blev indført af biologerne Leda Cosmides (f. 1957) og John Tooby (f. 1952) i bogen *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and The Generation of Culture* fra 1992. Den evolutionære psykologis kontroversielle præmis er, at menneskers og andre primaters udseende, adfærd og bevidsthed kan forstås bedst i lyset af deres evolutionære historie. Den evolutionære psykologi foreslår således, at mekanismerne for et stort antal af menneskelige reaktionsmønstre, følelser og tanker skal findes i psykologiske adaptioner, som udvikles ved naturlig udvælgelse for at facilitere og forbedre reproduktionen. Nogle af mekanismerne menes at være univer-selle, mens andre er begrænsede til ét køn eller til en bestemt aldersgruppe. Mange adaptioner er ukontroversielle, som f.eks. hukommelse, kooperation og muskelkontrol, men mindst ligeså mange adaptioner er stærkt omdiskuterede. Det gælder f.eks. mænd og kvinders parringsstrategier, incestundvigelsesmekanismer og evnen til at afsløre snyd og bedrag.



Resultater fra “ultimatumspillet”. X-aksen angiver den tilbudte sum penge, og størrelsen af cirklerne angiver procentdelen af forsøgspersoner, som ikke accepterer summen og straffer. (De hvide tal angiver procentdel). n er antallet af forsøg. I Gusii (Kenya) var der f.eks. ingen, som accepterede et tilbud under 30 \$. Bemærk, at der er mange kulturer, som f.eks. folk i Accra (Ghana) og Sanquianga (Colombia), som også straffer alt for stor generositet, noget man ikke finder i Europa eller USA. Tabellen er sorteret efter de gennemsnitligt mindste tilbud (øverst) til de største (nederst). Folk i Sursurunga (Papua Ny Guinea) giver altså i gennemsnit mere end halvdelen af pengene bort. J. Henrich et al. i *Science* 312, 2006.

For bedre at forstå grundlaget for årsagen til samarbejde og sociale normer hos mennesker har en række evolutionære psykologer f.eks. udviklet “ultimatumspillet”, hvor en person får tildelt 100 \$, som hun/han skal fordele efter forgodtbefindende mellem sig selv og andre. Hvis hun/han giver de andre “for lidt”, har de mulighed for at straffe giveren. Hvis der straffes betyder det imidlertid, at ingen af dem modtager noget.

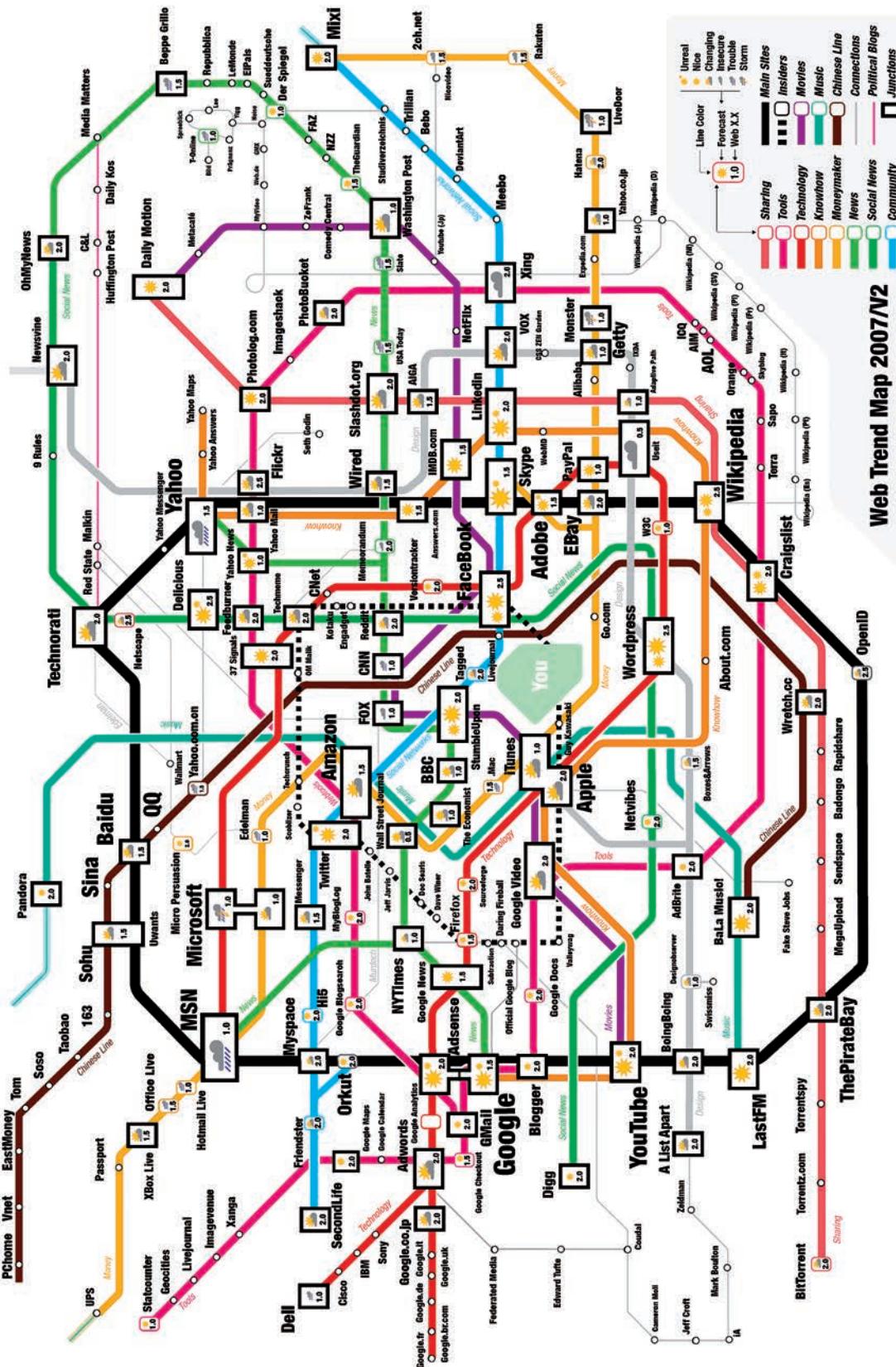
Viljen til at straffe, selvom det koster penge, viser sig at være betragtelig.

Forskerne kunne derfor konkludere, at mennesker fra alle kulturer er villige til at straffe uretfærdighed. Men hvad der bliver anset som retfærdigt og uretfærdigt, er meget forskelligt fra kultur til kultur. Størrelsen af straffen varierer også meget, men der er altid en korrelation mellem størrelsen af straffen og viljen til samarbejde. Jo større vilje der er til at samarbejde i en kultur, jo større bliver straffene, hvis man ikke gør det.

Det kontroversielle i den evolutionære psykologis hypotese er, at den menneskelige natur med alle dens fortrin og mangler anses for at være et resultat af nogle genetiske og sociale processer, og derved er et uomgængeligt vilkår. Vores umoral vil ikke forsvinde med hverken pisk eller gulerod, ej heller med et dobbelt pensum marxistiske seminarer. I hvert fald ikke på kort sigt. Vores emotionelle tendenser og instinkter korresponderer blot med spilteoriens regler, fordi det er disse, som er de kombinatoriske realiteter for gennernes overlevelse i en given social kontekst. Mange forskere har vendt sig stærkt imod en sådan reduktionistisk forståelse af mennesket, fordi det kan forlede folk til at tro, at de ikke har noget ansvar for egne handlinger: "det er ikke min, men mine geners skyld." Men en kritik af den evolutionære psykologi må også selv passe på med ikke at begå en reduktionistisk fejlslutning, fordi et evolutionært perspektiv på godhedens oprindelse ikke gør os mindre eller mere gode. Det er blot et andet forsøg på at forklare nogle sammenhænge. Den evolutionære psykologi er stadig en videnskabsgren i sin verden, selvom den efterhånden også bliver anvendt i en lang række forskningsområder uden for de klassisk naturvidenskabelige områder såsom økonomi, politik, litteratur og jura.

# Web Trend Map 2007/V2

INFORMATION ARCHITECTS - JAPAN



# 10

## Netværksvidenskab

Komplekse systemer findes overalt. Organismers komplikerede organisation, fødekæders labyrintiske sammenspil, neuroners indviklede afhængigheder og livets sociale relationer med deres evige vekselspil og nye bindinger. Det fundament, som komplekse systemer øjensynligt er baseret på, består af selvorganiserende netværk, der ved at være åbne for ydre påvirkninger er i stand til at opbygge en stabil struktur. Det giver måske indtryk af at være kaos, men er i virkeligheden en omfavnelse af kaos, et evindeligt vekselspil mellem aktion og reaktion, mellem handling og respons. Genetiske netværk i biologien er blevet undersøgt i mange år, og forskerne har lært, at selv så simple væsener som bananfluer indeholder et dybt kompliceret samspil af gener og proteiner, og det er kun gennem dette gennem millioner af år udviklede system, at bananfluer har tillært sig deres specifikke overlevelsesstrategier. Vi mennesker er også opbygget af et kompletst genetisk system. Og i vores sociale omgang med hinanden opbygger vi utallige komplekse strukturer, om de så er biologiske, sociale, økonomiske eller politiske.

Erkendelsen af, at verden er meget mere kompliceret, end hvad den

◀ Mange forsøg på at illustrere internettet har indtil videre slået fejl, fordi det uoverskuelige væld af datastrømme hen over hubs og servere forhindrer et meningstydigt overblik. Her er et nyt forsøg på at bruge Tokyos metro som skabelon for de 200 mest succesrige "stationer" i 2007. De er ordnet efter type, nærhed, popularitet og fremtidschancer. De 15 forskellige typer, bl.a. nyheder, musik, politik og fildeling, har hver deres metrolinje, og hvor der er overlap, f.eks. på YouTube, kan man finde indhold af begge typer. Vejkortene på stationerne forsøger at vurdere deres fremtidsudsigter · Information Architects, Tokyo.

newtonske bevægelsesmekanik eller den analytiske matematik fra 1700- og 1800-tallet er i stand til at anskueliggøre, har været et væsentligt kendetecken for den moderne naturvidenskab fra 1950 og frem. Man fandt ud af, at de simple modeller for fysik, kemi og biologi, som de studerende typisk mødte i gymnasierne og i de første semestre på

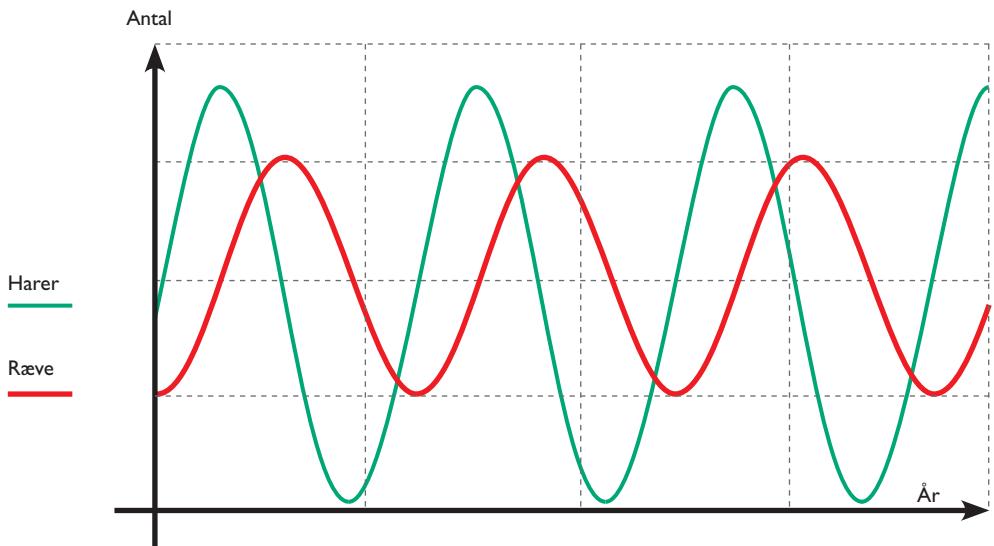
universitetet, intet var at sammenligne med de komplicerede vekselvirkninger og netværk, som man møder i virkeligheden. Kun sjældent kan man her finde en formel, som kan give en smutvej til indsigt. Tværtimod viser det sig ofte, at de interessante fænomener først opstår som resultat af mange elementers vekselvirkning, og at man må anlægge flere beskrivelsesniveauer for at forstå deres mekanismer og funktioner. Det har haft væsentlig idehistorisk betydning. Selvom reduktionismen – at koge en proces ind til dens mest basale bestanddele – stadig er en vigtig naturvidenskabelig metode til at adskille en helheds forskellige komponenter for at forstå deres relationer og funktioner, betyder det ikke, at komplekse systemers opførelse kan forudbestemmes og dermed forstås fuldkomment i alle deres konsekvenser.

At se verden som “summen af enkellementerne” er stadig en meget virksom metafor, men den stammer fra en tid, hvor naturvidenskaben så universtet som noget statisk, som noget, der var tidløst og endeligt. I nyere tid er man i stedet begyndt at metaforisere verden ud fra, hvad den snarere synes at være: et foranderligt, åbent og dynamisk sted i et uendeligt fornyende vekselspil af elementer, kræfter og informationer. Når denne vekselspilsmetafor erstatter sum-metaforen, synes det heller ikke længere helt umuligt for forskere at forholde sig til så svære emner som bevidsthed, erkendelse, mening og troen på den frie vilje, fordi de synes at påvinge sig selv som ren og skær nødvendighed for at mennesket kan navigere og holde sammen på sig selv som individ.

Men hvordan kommer man fra individuelle neuroner til bevidsthed? Fra kemisk binding til erkendelse og mening? Hvordan skal man forstå en hel menneskekrop ud fra en stamcelle? Hvilke snørklede veje er nødvendige for at komme fra signal til sprog, fra chip til informationssamfundet? I dette kapitel vil vi forsøge at kigge på denne rodebutik på et mellemniveau, hvor en statisk undersøgelse af enkellementerne synes at være utilstrækkelig, og en overordnet analyse af hele systemet aldrig formår at stikke dybt nok.

## Økosystemers kompleksitet

Den naturlige udvælgelse opererer på alle organisationsniveauer. Den danner også nye organisationsniveauer. Atomer forbindes til molekyler, som forbinde sig til proteiner og til celler, der efterfølgende organiserer sig i de enkelte organismer, der tilsammen danner økosystemer. Der synes at være en tendens

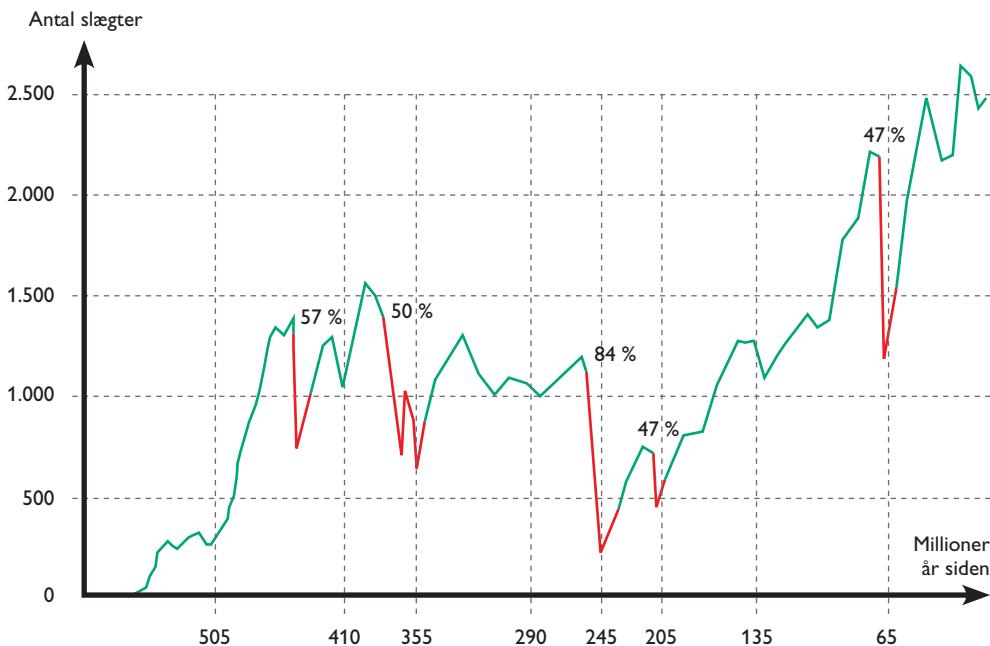


hen imod større kompleksitet. Men komplekse systemer har det med at bryde sammen.

Et af de første forsøg på at forstå komplekse økosystemers stabilitet ud fra matematiske modeller var italieneren Vito Volterra (1860-1940) og amerikaneren Alfred Lotkas (1880-1949) modeller for vekselvirkningerne mellem rovdyr og byttedyr. Hvordan kunne der f.eks. opretholdes en ligevægt mellem ræve og harer, således at den ene art ikke udkonkurrerede den anden? Deres løsningside var, at hvis rævene spiser for mange harer, vil der ikke være mad nok til at føde et stort antal ræveunger, og antallet af ræve vil derfor blive mindre i næste generation. Når der er få ræve, vil antallet af harer til gengæld vokse hurtigere, fordi de har færre naturlige fjender. Det medfører, at de få ræve, som er tilbage, nu får et herligt liv med masser af mad og et deraf følgende stort afkom. Det vil igen få antallet af ræve op, mens antallet af harer vil gå ned. På den måde forestillede man sig, at der kunne være stabile oscillationer i antallet af arter i alle mulige økosystemer med x antal medlemmer. Fødekæderne ville kunne tilpasset sig til udbuddet, og hele systemet ville kunne finde frem til en selvorganiseret ligevægt.

I løbet af 1970’erne viste det sig dog, at verden ikke var så ligetil. Fysikeren Robert May (f. 1936) fandt ud af, at stabiliteten af økosystemer blev mindre, jo flere elementer de bestod af. Desuden ville en invasion af en

Lotka og Volterra forestillede sig, at populationsen af henholdsvis harer og ræve holder hinanden i skak. Når der er mange harer, vil antallet af ræve stige, hvilket vil bevirke et fald i antallet af harer, indtil der igen ikke er så mange ræve. På grafen angives antal år på x-aksen og antallet af ræve og harer på y-aksen.



De fem største perioder af masseuddøen i Jordens historie udryddede hver gang omkring 50 procent af alle slægter, undtagen den store permiske masseuddøen for ca. 245 millioner år siden, hvor alle trilobitter, 50 procent af alle dyrearter, 95 procent af alle marinearter og mange træsorter, i alt svarende til 84 procent af alle slægter, forsvandt. Det var begyndelsen til reptilernes dominans, især dinosaurerne, som så selv blev udryddet i den sidste masseuddøen for ca. 65 millioner år siden.

ny art få modellerne til at falde fra hinanden. Der findes med andre ord ikke noget slaraf Fenland, i hvert fald ikke matematisk, hvor alle arter kan leve lykkeligt side om side uden fare for at uddø. Tværtimod må verdenshistorien snarere karakteriseres som en kæmpe lottocentral, eller som et uendeligt sisypusbjerg, hvor den ene art efter den anden ved

hjælp af tilpasning og udvælgelse forsøger at klatre op ad bjerget, for blot at blive kastet tilbage i glemslens dyb. Man mener, at der i dag lever flere millioner arter på Jorden. Men dette tal er mikroskopisk i forhold til de estimerede 50 milliarder arter, der menes at have eksisteret på Jorden, siden de første blågrønne alger dukkede op i oceanerne for 3,8 milliarder år siden. Det vil sige, at evolutionen har en "fejlrate" på mere end 99 procent.

Det er værd at tænke over. Vi er alle vokset op med en fornemmelse af, at verden er et rimelig sikkert sted at være, hvis vi vel at mærke ser bort fra de ting, som mennesker kan finde på at gøre ved hinanden. Solen står op om morgenens og går ned om aftenen, årstiderne kommer og går i en fastlagt rækkefølge, og ligesom vores forældre gjorde det, gør vi vores bedste

for, at vores børn og børnebørn vil få et godt og langt liv. Men i betragtning af at der i gennemsnit uddør én art hver måned, og den gennemsnitlige levetid for en art er få millioner år, er Jorden måske slet ikke så sikkert et sted endda. De fossile fund fortæller i hvert fald om den ene store katastrofe efter den anden.

I løbet af 1900-tallet var frekvensen af uddøende arter dog steget voldsomt. Forsigtige estimerater siger, at der i dag uddør ca. tusinde til titusinde gange så mange arter som normalt, hvilket svarer til én art i timen – måske endda én art i minuttet – pga. direkte eller indirekte påvirkninger fra mennesket. Det betyder, at vi er i midten af den sjette store bølge af masseuddøen, fuldt ud sammenlignelig med de fem tidligere perioder af masseuddøen i vores geologiske fortid. Den eneste forskel er, at den i dag skyldes en enkel art – mennesket – snarere end eksterne økologiske ændringer.

Økologen Garrett Hardin (1915-2003) viser i sin berømte teori om “The tragedy of the commons”, hvordan vi mennesker uundgåeligt underminerer vores eget subsistensgrundlag, når vi kun kan overskue og kontrollere egne beslutninger, men ikke resultatet af fællesskabets samlede beslutninger. Man kan tage fiskeri som eksempel. Den enkelte fisker vil som regel forsøge at øge egen fortjeneste ved at fiske lidt mere, og lidt mere igen, i det fælles gode: havet. Hardin viser, hvordan fri adgang til en efterspurgt, men begrænset, ressource fører til overudnyttelse. Tragedien indtræffer, når folk finder ud af, at det kan betale sig hurtigt at tage, hvad de kan, fordi de negative konsekvenser af deres rovdrift fordeles over et større antal mennesker og derfor rammer dem selv mindre hårdt – i sådanne situationer er det svært at sige nej til den umiddelbare gevinst.

Den amerikanske antropolog Jared Diamond (f. 1937) har vist, hvordan netop denne dynamik har ført til mange civilisationers kollaps og efterfølgende uddøen. Dette var f.eks. tilfældet med anasazi- og cahokia-stammerne i Nordamerika, med mayaerne i Mellemamerika, med moche- og tiwanaku-samfundene i Sydamerika, med mykenisk og minoisisk Grækenland, Stor-zimbabwe i Afrika, Angkor Wat- og Harappan-kulturerne i Asien, og med befolkningen på Páskeøerne. I et globalt og hyperkomplekst samfund som vores er der forsøgt udviklet en lang række nationale og overnationale sikkerhedsmekanismer, lige fra nationale love og skatter til internationale traktater og konventioner, som forsøger at begrænse escalationen af enkelte gruppers kortsigtede fortjeneste for at sikre fællesskabets overlevelse og bæredygtighed.



Geden har været betragtet som en væsentlig årsag til ørkendannelser, især i Nordafrika. Efter torkeperioder spiser gederne resterne af vegetationen og bidrager dermed yderligere til ørkendannelsen. På billedet ses en etiopisk gedehyrde, der fører sin hjord gennem ørkenen.

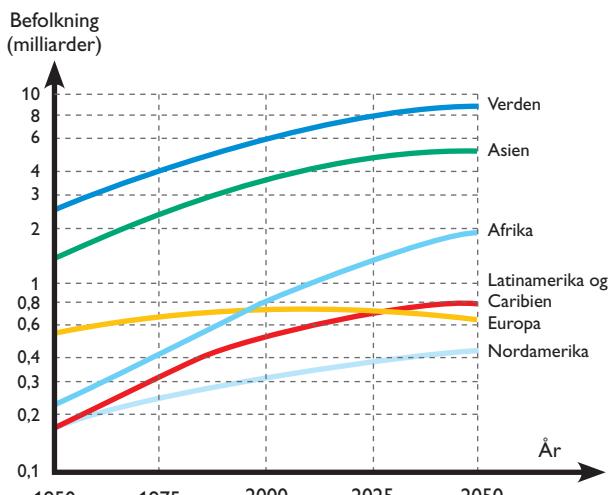
Panos Pictures, London/Dieter Telemans.

Men de har ofte svært ved at vinde gehør og ender ofte med at være abstrakte og fjerne regler, som er svære at forstå ud fra et individuelt perspektiv.

Inden for de enkelte kultursærer har ligevægtssøgende sociale praksisser eksisteret så langt tilbage, som man ved. Der fandtes eller findes f.eks. ingen menneskelig kultur, som ikke har sans for retfærdighed. Assyrerne havde den, inkaerne havde den, og vi har den. Retfærdighedssansen ser således ud til at være en del af menneskets sociale "biologi". Men denne retfærdighed begrænser sig primært til at sikre stabiliteten inden for kulturen og arten selv: dvs. at beskytte visse dele af befolkningen fra at blive udnyttet, at holde øje med kløften mellem dem som har, og dem som ikke har osv. Den beskæftiger sig indtil videre sjældent med retfærdighed kulturerne og arterne imellem. I eksemplet med ræve og harer var der en naturlig begrænsning for rævenes populationsvækst og dermed deres udnyttelse af naturressourcerne i form af antallet af spiselige harer. Det kan næppe kaldes retfærdighed i normal forstand.

Menneskets enorme fleksibilitet og effektivitet i udnyttelsen af natur-

FN regner med, at populationerne i de forskellige regioner af verden vil udvikle sig som vist her. Bemærk den logaritmiske y-akse, som får grafen til at virke mere flad.



ressourcer gør det langt mere problematisk at finde ligevægtsskabende mekanismer i en globaliseret økologi. Dette dilemma er ikke kun udtrykt i den eksponentielt stigende befolkningstilvækst, som man

regner med vil nå ni milliarder mennesker, inden kurven ifølge Verdensbankens og FN's forudsigelser fra 2002 flader ud igen omkring år 2050. Det er også udtrykt i den mængde energi, som mennesker bruger til egne formål. Forsigtige forudsigelser fra en forskningsgruppe ved Stanford University og fra biologen Stuart Pimm (f. 1949) siger sammenstemmende, at mennesket ved årtusindskiftet brugte 40 procent af al den solenergi, der dagligt optages i planter (hvilket kaldes kladens primærproduktion). Og det er også udtrykt i den berømte drivhuseffekt, som skyldes den øgede produktion af CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser, og som resulterer i en global opvarmning. Der ser således ud til, at der er grænser for, hvor meget vores civilisation kan overskue og kontrollere. Så selvom verden måske kan forstås til en vis grad ved hjælp af naturvidenskabelig tænkning, kan vi indtil videre kun være indsigtfulde tilskuere til vores egen arts destabiliserende virkninger på Jordens økosystem.

## Selvorganiserende kritiske netværk

Fysikere og kemikere havde frem til den sidste halvdel af 1900-tallet vænnet sig til at betragte naturen som et ligevægtssystem. Det betød, at ikke-ligevægtsfænomener – såsom laviner, arters masseuddøen, børskrak eller jordskælv – blev betragtet som noget unormalt, som noget, der lå uden for det normale. Det var undtagelser, der bekræfter reglen om ligevægt. I dag ved man, at det er det modsatte, der er tilfældet: ikke-ligevægt er snarere reglen end undtagelsen. De fleste fænomener i naturens fysik – man kan i flæng nævne internettets vækst, floders spredning, bjerges langsomme formation

gennem erosion, men også evolution, økonomi, og mange andre netværks-systemer – er som regel meget langt væk fra ligevægt, idet de er i en konstant vekselvirkning med sig selv og omgivelserne.

Det har derfor været nødvendigt at udskifte selve det matematiske analyseapparat. Når man i det klassiske ligevægtsparadigme har lavet modeller for f.eks. kemiske reaktioner eller biologiske populationer, har man som regel brugt kontinuerte differentialligninger. De forudsætter, at der sker en uendelig lille ændring i antallet af elementer pr. tidsenhed. Men det kan kun lade sig gøre, hvis der er et stort antal af identiske elementer. Dette er sjældent tilfældet i evolutionære systemer, hvor næsten alle elementer er forskellige. Det er derfor bedre at modellere den slags systemer med diskrete differensligninger eller cellulære automater, hvor hvert individuelt element tilskrives en egen “fitnessværdi” og spores separat igennem systemet. I 1990’erne kunne den danske fysiker Per Bak (1948-2002) f.eks. vise, at mange af disse uligevægtige systemer eksisterer i en “selvorganiseret kritisk tilstand”, der er karakteriseret ved at udvise sammenbrud i alle størrelsesklasser. Om det er arter eller bjerglandskaber, internettet eller trafikpropper, aktiekurser eller en sandbunke – ligheden mellem alle disse ting er den, at de er underlagt de samme dynamiske principper. Det er som om, naturen kun havde brug for én enkelt arkitekt til at bestride alle sine mange konstruktionsopgaver med.

Naturens uligevægtige byggeklodser organiseres altså ud fra ganske simple fysiske regler, og hvis man mäter på nogle af deres egenskaber, f.eks. lavinernes størrelse, så viser det sig, at de altid har den samme form. Og ligesom Richterskalaen er en fordelingskurve for størrelsen af jordskælv, kan en hel masse andre biologiske og sociale fænomener, som f.eks. arternes levetid eller indkomstfordelingen i USA, lægges på en lignende kurve.

Men hvad kan den forskning fortælle os andet, end at det alt sammen går galt på et eller andet tidspunkt? Først og fremmest netop det: at det *går* galt på et eller andet tidspunkt, og at vi sandsynligvis intet kan gøre ved det. Modellerne kan ikke forudse specifikke hændelser. De kan kun beskrive en statistisk situation. De kan bruges til at forstå, hvorfor ordet “gennemsnit” ofte er meningsløst at bruge. Når det f.eks. viser sig, at indkomsten i USA fordeler sig sådan, at de fleste tjener meget lidt, og ganske få tjener meget, så er det misvisende at tale om en gennemsnitlig indkomst, hvis man tror, at det dermed også er den mest hyppige indkomst. Det er det som regel ikke.

Men primært fortæller modellerne, at mange dynamiske systemer organiserer sig i en selvorganiserende kritisk tilstand, der gør, at sådanne systemer opholder sig på grænsen mellem orden og kaos, hvor der bestandig foregår både mange små og få store ændringer.

## Verden kan fortælles

Denne bog startede med at beskrive de vigtigste redskaber, der var nødvendige (men selvfølgelig ikke tilstrækkelige) for at videnskabelig tænkning kunne opstå i den europæiske kultur. Disse redskaber var tal og skrift. Men der er især ét redskab, eller rettere en evne, som går forud for disse to. Og det er evnen til at kunne tale. Uden et effektivt kommunikationssystem mellem mennesker ville kulturer og civilisationer aldrig være opstået.

Talesproget er med andre ord menneskets vigtigste sociale netværks-teknologi. Og også her kan den evolutionære psykologi, spilteori og populationsdynamiske modeller give et godt bud på, hvordan talen kunne være foregået. I 1999 fremlagde den østrigske teoretiske biolog Martin Nowak (f. 1965) sammen med amerikaneren David Krakauer (f. 1967) en model for, hvordan lyde kunne blive til ord, og ord til sætninger med faste grammatiske regler, ud fra den simple antagelse at antallet af fejl i kommunikationen mellem to individer skal holdes så lavt som muligt.

Sandsynligvis startede de verbale signaler, som primater brugte til at kommunikere med, med at referere til konkrete hændelser og hele situationer. Budskabet kunne være ”løven kommer”, ”mad her” eller ”du snyder mig”, og alle repræsenteredes ved enkle enstavelseslyde. Men efterhånden som antallet af kommunikerbare objekter og hændelser steg, var det svært at lave nok lyde, der kunne skelnes fra hinanden. Risikoen for fejlagtige fortolkninger steg, fordi en sondring mellem f.eks. ”ørn” og ”børn” jo kunne betyde forskellen på liv og død.

For at overvinde denne ”fejlkatastrofe” i overførslen af information, udvikledes der i stedet et lille sæt af let genkendelige lyde – et alfabet – som kunne samles i ord. Denne tidsforskudte opremsning af vokaler og konsonanter havde en langt mindre risiko for at blive misforstået, og den indeholdt samtidig muligheden for at danne uendelig mange ord. En sådan klar og tydelig kommunikationsform havde ganske enkelt de bedste muligheder for at overleve. Den er en slags digitalisering af et meningsindhold, idet vo-

kaler og konsonanter i sig selv jo ikke indeholder en mening. Betydningen opstår først via et kombinatorisk trick, der gør uendelig brug af et endeligt antal lyde.

Det næste trin i udviklingen af talesproget var dannelsen af sætninger. Her forestiller Krakauer og Nowak sig, at den blotte akkumulation af flere ord på et eller andet tidspunkt blev til en hukommelsesmæssig byrde for homininer med begrænset hjernekapacitet. Hvis enhver kompleks hændelse – såsom ”pas på, ørnen kommer fra venstre” eller ”maden ligger gemt under en busk 300 meter mod nordøst” – skal beskrives med ét ord, der dækker hele meningsindholdet, bliver det hurtigt umuligt at holde rede på de mange ord.

Indlæringsprocessen vil blive stadig mere krævende, og risikoen for, at samtalepartneren ikke kender de samme ord som en selv, vokser også. Ifølge modellerne er vejen ud af denne evolutionære blindgyde igen kombinatorikken, det vil sige dannelsen af sætninger ved hjælp af syntaktiske regler. Som eksempel kan man nævne beskrivelsen af hændelser ved hjælp af et objekt og en handling. Hvis ”løven sover” er det noget andet, end hvis ”løven kommer”. Uden opdelingen i navne- og udsagnsord ville man skulle finde på nye ord for hver af situationerne. Men med syntaktiske sætninger vil antallet af nødvendige ord i vores ordforråd mindske, samtidig med at antallet af mulige udsagn gøres uendeligt. Den nødvendige indlæring af grammatiske regler har naturligvis en omkostning, men Nowak kunne vise, at den naturlige udvælgelse hurtigt vil foretrække syntaktisk kommunikation, hvis antallet af signaler overstiger en bestemt grænse. Grammatik og syntaks er med andre ord kun fordelagtige i situationer, hvor det er nødvendigt at betegne virkelig mange hændelser og kvalificere dem på en meget eksakt måde. Udviklingen af et komplekst sprog kan ifølge den engelske antropolog Robin Dunbar (f. 1947) derfor kun ske hos arter, der har en ganske differentieret samfundsform, en kompleks social struktur, hvor individerne samarbejder, og hvor man relaterer til mange genstande i omverdenen.

I bestemte perioder af opvæksten lærer børn ord og sætninger meget nemt. Det ser ikke ud til, at de har brug for megen øvelse for at lære de indviklede grammatiske regler, der ligger til grund for at udtale ordene i den rette rækkefølge. Den amerikanske lingvist Noam Chomsky (f. 1928) beskæftigede sig med netop dette problem og konkluderede i 1965, at dette fænomen kun kunne forstås, hvis barnet besad en instinktiv viden om grammatikken. Denne medfødte sprogtilegnelsesstruktur i hjernen, som ifølge

	“brark”	“kussñ”	“hawk”	“chuttr”	“grnt”	“whee”
(Leopard)	●	●	●	●	●	●
(Slange)	●	●	●	●	●	●
(Ørn)	●	●	●	●	●	●
(Citron)	●	●	●	●	●	●
(Vand)	●	●	●	●	●	●
(Banan)	●	●	●	●	●	●

	“brark”	“kussñ”	“hawk”	“chuttr”	“grnt”	“whee”
(Leopard)	●	●	●	●	●	●
(Slange)	●	●	●	●	●	●
(Ørn)	●	●	●	●	●	●
(Citron)	●	●	●	●	●	●
(Vand)	●	●	●	●	●	●
(Banan)	●	●	●	●	●	●

Chomsky består af et regelsæt, der vælger den rette grammatik ud fra et meget lille antal af input, kaldte han “Universal Grammar”. Det gav anledning til en forestilling om, at der findes et medfødt grammatisk “organ” eller “relæ” i hjernen. Det har været en meget kontroversiel tanke i lingvistiske kredse, bl.a. fordi det har været svært at eftervise eksperimentelt, men også fordi sprogforskere har haft en tradition for ikke at ville beskæftige sig med sprogets biologiske aspekter. Også Chomsky har været tilbageholdende med at tænke sprog ud fra darwinistiske principper, og derfor var det først med den amerikanske lingvist Steven Pinkers (f. 1954) arbejde i begyndelsen af 1990’erne, at de evolutionære aspekter ved sprogets udvikling blev taget op, og først med Nowaks arbejde i 1999 blev sprogets strukturelle tilbliven forbundet med de matematiske modeller, som man kender inden for darwinistisk teori.

Ligesom det er tilfældet med alle mulige andre biologiske kendetegegn, blev talesproget ifølge disse modeller altså udvalgt på grund af de fordele, der var knyttet til en effektiv kommunikationsform blandt artsmedlemmerne. Interessant er det, at man først med udviklingen af skrift, tal, bogtryk og computeren, som i sig selv er yderligere trin i udviklingen af nye kommunikationsnetværk, har kunnet formulere videnskabelige teorier for oprindelsen af dette generelle og multi-funktionelle lingvistiske apparatur, som vi kalder sprog. Og der er intet, der tyder på, at vi er nået til vejs ende. Den

Her ses selvorganiseringen af den franske lingvist Ferdinand de Saussures (1857-1913) arbitrære tegn. Tabellen angiver sammenhængen mellem en lyd (f.eks. “brark”) og dennes betydning (f.eks. “leopard”) i en population af kommunikerende individer. I begyndelsen har alle individer tilfældige associationer mellem en lyd og dens mulige betydning (angivet med lige store prikker), men efterhånden som de prøver sig frem med diverse forbindelser mellem lyde og meninger, vil hele populatioen efterhånden enes om, hvilke lyde der skal associeres med hvilke meninger (angivet med de store prikker). Tegnet er altså arbitrært i den forstand, at “brark” her betyder leopard, ligesom “grnt” betyder banan, men det kunne lige så godt være blevet omvendt. Modellen viser desuden, at fejl og misforståelser øger muligheden for at finde en optimal løsning – et fælles sprog – i sidste ende.

menneskelige hjerne er klog og opfindsom: skulle der komme nye kommunikative behov (som det globale netværkssamfund antyder, at der gør), vil vi med lidt tid og held også indfri disse.

## Netværk i kroppen

At kunne tale et sprog er en evne, alle raske mennesker har. Men talesproget er alligevel ikke fuldt ud ”genetisk programmeret”, sådan som synsevnen eller fordøjelsen er det. Sprog kræver i høj grad oplæring i et kulturelt og familiært fællesskab, hvor den naturlige evne til at huske og anvende det auditive apparat forbindes med de tilfældige lyde, som et bestemt sprogfællesskab bruger til at give tingene deres betydning. Natur og kultur, biologi og sociale konventioner er således sammenvævede i et netværk af hinanden mere eller mindre påvirkende vekselvirkninger.

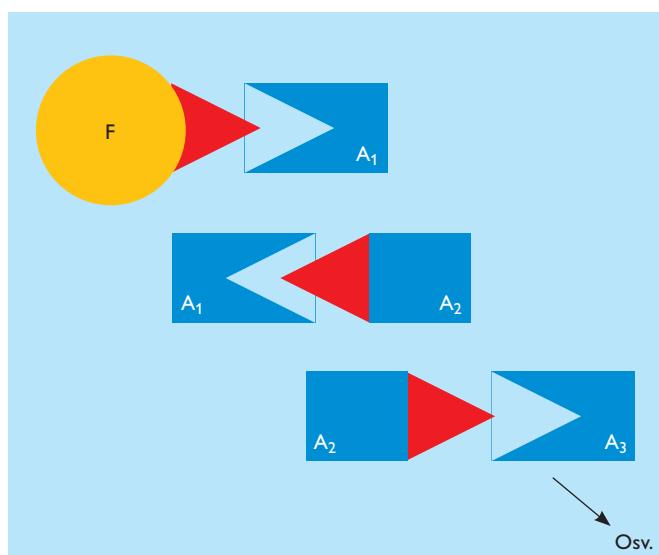
Det samme gælder immunsystemet. Også her er der tale om både et såkaldt innat immunsystem, som er medfødt, og et adaptivt immunsystem, som tillæres i løbet af opvæksten. Og også her er der tale om et meget veltilpasset netværk af funktioner, hvor vekselvirkningen med egne og fremmede legemer, som f.eks. bakterier, vira og svampe, skaber et dynamisk kognitivt netværk, som kan lære og reagere på ændringer i løbet af individets levetid. Antallet af lymfocytter – som er de celler, der kan danne antistoffer, og som udgør 20-30 procent af de hvide blodlegemer i en menneskekrop – er f.eks. mindst ti gange så stort som antallet af neuroner i hjernen. Det er derfor ikke helt forkert at kalde immunsystemet et organ, som er lige så ”bevidst” om sin (mikro)biologiske omverden, som hjernen er bevidst om sin materielle og sociale omverden.

Den danske immunolog og nobelpristager Niels Kaj Jerne (1911-94) var en stor fortaler for at forstå immunsystemet som et lingvistisk netværk af kognitive og semiotiske strukturer. Med henvisning til Noam Chomskys teorier forsøgte Jerne at sammenligne immunsystemets kombinatoriske funktioner med talesprogets ditto, dvs. dets semantiske strukturer, dets generative grammatik og leksikon. Jerne blev anset som sin tids største immunolog. Hans teori om dannelsen af antistoffer fra 1955 erstattede den fremherskende lamarckistiske forståelse af antistoffer, efter hvilken et fremmedlegeme (et såkaldt antigen) fungerer som skabelon for dannelsen af et passende antistof. Jernes ”naturlige selektionsteori” gik i stedet ud fra, at

hvert individ allerede ved fødslen har et færdigt antal naturlige antistoffer uafhængigt af omverdenen, og at antigenet via sin blotte tilstede værelse ”udvælger” det antistof med det bedste match på normal darwinistisk facon. På baggrund af Jernes forarbejde foreslog den australske immunolog Macfarlane Burnet (1899-1985) få år efter den såkaldte ”klonselektionsteori”, efter hvilken antistofferne sidder på overfladen af nogle bestemte lymfocytter, lidt ligesom dokporte på en kæmpe rumstation. Når et antigen så tilfældigvis dokker på membranoverfladen af lymfocytten, vil den begynde at formere sig. Teorien var en stor bedrift inden for den medicinske forskning, fordi den var udgangspunktet for at udvikle teknikker til at producere specifikke antistoffer, der kunne fungere som en slags fjernstyrede missiler til behandling af bl.a. kræft og hiv.

Jerne gav også et bud på, hvordan immunforsvaret reguleres af et kompliceret netværk af antistoffer og anti-antistoffer, således at kroppen kan opbygge en form for selverkendelse. Denne såkaldte ”idiotypiske netværksteori” fra 1974 betragter immunsystemet som et ligevægtssøgende netværk, spændt ud af stadig nye generationer af antistoffer i nye variationer og former, der i en uendelig proces stimulerer og undertrykker hinanden. Når et fremmedlegeme introduceres i netværket, forstyrres ligevægten, og hele systemet forsøger at genskabe ligevægten, hvilket fører til en immunrespons. Jernes teorier har været væsentlige hjørnesten inden for immunologien, og

Ifølge Jernes idiotypiske netværksteori sker immunisering over for et fremmedlegeme (F) ved dannelsen af ikke kun specifikke antistoffer ( $A_1$ ), der dokker på F, men også ved andre antistoffer, som genkender  $A_1$ . Den unikke form (idiotype) af bindingsområdet på  $A_1$  får immunsystemet til at danne  $A_2$ , som simulerer fremmedlegemets struktur.  $A_2$  bruges så til at danne endnu flere antistoffer,  $A_3$ , som danner  $A_4$ , som danner  $A_5$  osv. Immunsystemet producerer altså antistoffer, som genkender antistoffer, som genkender antistoffer, i det uendelige. Kaskaden ender, når mængden af det sidste anti-anti-anti-anti-stof ikke er nok til en ny runde, hvorefter ligevægten kan genskabes.



hans netværksteori har i årtierne efter vist sig at være nyttig inden for forebyggelse, diagnose og behandling af sygdomme. Det har skabt en forståelse af organismen som et komplekst ligevægtssystem, der på mange forskellige niveauer er i stand til at kende forskel på sig selv og noget, som er den fremmed. Selv-bevidsthed er således ikke kun noget, der eksisterer som et neurologisk fænomen i hjernen eller som resultat af sociale interaktioner. Det synes i sin primitive form at være et emergent fænomen for en lang række biologiske netværk, der opretholder en arkitektonisk orden og vekselvirker med omverdenen.

Jernes netværksteori begyndte langsomt at sætte spørgsmålstege ved Burnets dualistiske forestilling om et immunsystem, der kan kende forskel på egne og fremmede legemer. I stedet bliver immunsystemet blandt enkelte forskere snarere set som essentielt selv-reaktivt, dvs. som et dynamisk og refleksivt netværk, der vurderer alt – inklusive kroppens egne celler – ud fra graden af nytte og skadelighed. Det varede heller ikke længe, før en række undersøgelser i midten af 1990’erne viste, at autoimmune reaktioner, det vil sige aktivering af immunsystemet forårsaget af egne celler, er ganske almindelige. Autoimmunitet så ikke ud til at være undtagelsen, men snarere reglen. Ifølge den amerikanske hematolog Alfred Tauber (f. 1947) eksisterer fremmedhed som sådan slet ikke i dette nye paradigme, for hvis noget var absolut fremmed, ville immunsystemet ikke kunne danne sig et billede af det. Siden 1990 har en række teorier således tolket immunsystemet som et mere tolerant system, der er i konstant dialog med omverdenen og laver “damage control”, snarere end at være et forsvarsbolværk mod invasioner fra aliens.

## Netværk i hovedet

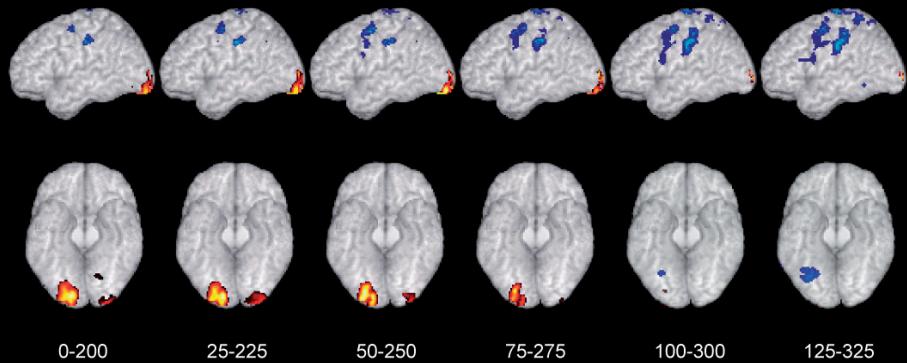
Et centralt idehistorisk spørgsmål siden Descartes (1596-1650) har været, hvordan man skal forstå den menneskelige bevidsthed, og hvilken status den har i forhold til vores evne til at erkende. De traditionelle filosofiske positioner har taget udgangspunkt i en overbevisning om, at subjektet var gen-nemsigtigt for sig selv, og at det menneskelige intellekt alene med dets logik og rationelle fornuft kunne konstruere tilstrækkelig viden om den ydre verden og den indre bevidsthed. En pibe og en lænestol var nok til at forstå verden. Men i løbet af 1900-tallet blev denne internalistiske position stadig mere marginaliseret i forhold til et mere eksternalistisk (dvs. typisk naturvi-

denskabeligt) ideal, hvor empiriske undersøgelser af hjernen og af kroppens biologi nødvendigvis måtte gå hånd i hånd med – eller endda forud for – en teori om bevidsthedens evne til selverkendelse.

Hvad var så disse empiriske undersøgelser, og hvad kunne de vise? Allerede i 1873 fandt man ud af, at hjernens nerveceller modtager informationer fra kroppens sansenerver. Få årtier efter påviste man, at de individuelle nerveceller i hjernen, som blev døbt “neuroner”, kommunikerer med hinanden via såkaldte synapser. I løbet af 1900-tallet vistes det så, at kommunikationen langs nervefibrene (kaldt “axoner”) foregår enten via elektriske impulser (eller, som det langt senere blev foreslægt, ved hjælp af en slags selvforstærkende lydbølger, “solitoner”), mens kommunikationen i synapserne primært foregår via kemiske signaler, som kan påvirkes af potente neurotransmitterer som f.eks. dopamin, serotonin og de opiumlignende endorfiner.

Det er vigtige opdagelser alle sammen, men hvordan relaterede de sig til interne sanseindtryk? Hvordan kan en samling af neuroner, synapser, axoner, dendritter, kemikalier osv. skabe bevidsthed og følelser? Og hvordan defineres bevidsthed i det hele taget? Det stod ikke klart. Al den viden, man fik om hjernen via hjerneforskningen fra 1870 og frem, hang således ikke sammen med det, man oplevede ved hukommelse og bevidsthed. Der manglerede en overordnet teori, som kunne redegøre for forholdet mellem hjerneaktiviteter og bevidstheds- og følelsestilstande. Mellem 1950 og 1970 var der stor tillid til ideen om, at hjernen “var ligesom en computer”. Man udviklede logiske automata, supercomputere og neurale netværk, som skulle efterligne hjernens funktioner. Men i løbet af 1970’erne blev man igen mere skeptisk. Godt nok kunne man med de mange nye teknologier lande på Månen og lave overordentligt hurtige beregninger, men man kunne f.eks. ikke få en robot til at holde balancen eller oversætte simple sætninger fra ét sprog til et andet. De kunstige neurale netværk kunne erkende ting ud fra formelle, regelbaserede algoritmer, men ikke via kontekst og mening, sådan som organismer synes at gøre. Man opdagede kompleksiteten i emnet og begyndte at tvivle på, om man overhovedet kunne efterligne menneskets evne til at erkende omverdenen og sig selv.

Symptomatisk for denne skepsis over for kunstig intelligens var den amerikanske filosof Thomas Nagels (f. 1937) overvejelser om, hvordan det ville være, hvis man var en flagermus. Hans ofte citerede artikel fra 1974 – “What is it like to be a Bat?” – handler om, at man ikke kan fremsætte en

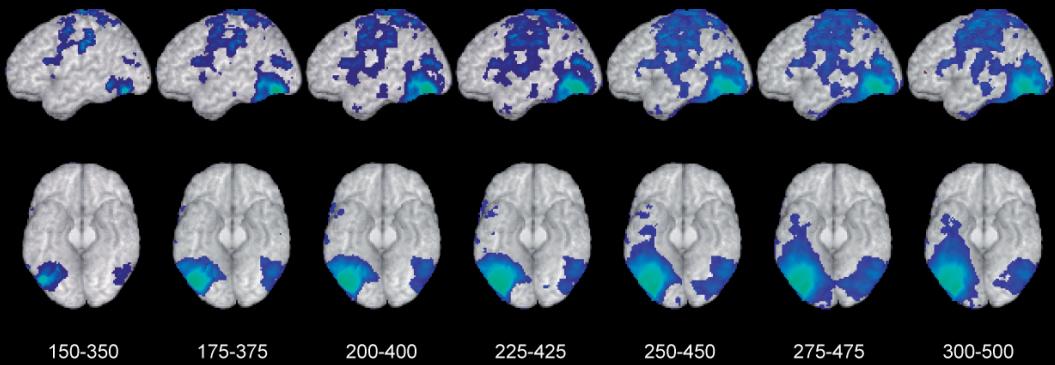


Et enkelt ord med kun fem bogstaver kan generere en utrolig kompleks respons i hjernen. På billedet ses spredningen af hjerneaktiviteten i løbet af det første halve sekund, efter at en forsøgsperson har læst et ord på en skærm. Tallene er angivet i millisekunder · Morten Kringelbach.

restløs neurofysiologisk beskrivelse af, hvordan det ville være at være en flagermus ud fra et menneskeligt perspektiv. Man bliver nødt til at *være* en flagermus for at vide det

helt nøjagtigt. Hvis naturvidenskaben derfor forsøger at give en objektiv beskrivelse af virkeligheden, mister den et essentielt subjektivt element, hvilket i forhold til bevidsthedsforskningen er fatalt. Hvis tingene fremtræder forskelligt for den enkelte – fordi mennesker har f.eks. viljer, indtryk, tanker og følelser – må der eksistere en forklaringskløft mellem de objektive biologiske realiteter i hjernen (som vi kan måle, men aldrig kan give fyldestgørende mening) og den subjektive psykologiske erfaring (som vi ved eksisterer, men som aldrig kan beregnes). I stedet for at eliminere det subjektive perspektiv, burde videnskaben illuminere det, mente Nagel.

Problemet med forestillingen om det subjektive perspektiv (ofte kaldet "qualia" i litteraturen) er, at det er meget nemt at falde tilbage til en cartesianisk dualisme, hvor metale processer i en vis forstand anses som ikke-fysiske, hvilket er uacceptabelt for de fleste forskere. Derfor blev der i løbet af 1980'erne og 90'erne udviklet en række forklaringsmodeller, som prøvede at gøre op med dualismen i kognitionsforskningen. Én af dem så qualia som ren og skær illusion. Den position forsvares gerne af bl.a. den amerikanske filosof Daniel Dennett (f. 1942). Hjernen er ifølge ham kun en syntaktisk maskine, som efterligner en betydningsproduktion, fordi det er en biologisk nødvendighed for overlevelsen. Erkendelsen af betydninger, af meningers ligheder og forskelle, og fornøjelsen over at kunne forstå ting er alt sammen blot godartede illusioner, der samler en lang række neurologiske impulser



og refleksler i en betydningsproducerende oplevelseskasse, lidt ligesom når man drømmer en fin og forståelig drøm, som først føles usammenhængende, når man vågner.

På baggrund af den franske neurolog Jean-Pierre Changeuxs (f. 1936) ideer, udviklede den amerikanske immunolog Gerald Edelman (f. 1929) en overordnet naturalistisk teori om bevidsthedens og hukommelsens opståen, hvor computeren ikke var forbilledet. Og ikke tilfældigt var Edelman også meget inspireret af Niels Kaj Jernes darwinistiske netværksteori. Ifølge Edelman foregår der blandt neuronerne i hjernen nogenlunde det samme som blandt lymfocytterne i resten af kroppen. Som tidligere nævnt, dokker fremmedlegemer an på passende antistoffer, der sidder på overfladen af lymfocytter, som derefter begynder at formere sig. I hjernen er det ikke fremmede legemer, men fremmede stimuli fra sanserne, som får grupper af neuroner til at slå gnister. Kun de neuroner, som er konfigureret til bedst at synkroniseres med den fremmede stimulus, reagerer. Det fører til en bestemt biokemisk reaktion, som igen fører til en styrket forbindelse mellem benævnte neuroner.

Det er dog ikke hele historien. I hjernens hyperkomplekse jungle udvikles der også andre neuroner, som skaber nye allianceer, mens gamle øde lægges. Da hjernen består af flere hundrede milliarder neuroner, og da der konstant dannes nye, er der rig mulighed for at den naturlige udvælgelse kan foregå. Vanskeligt bliver det, når man skal forstå, hvordan hjernen skelner mellem informationerne. Man går ud fra, at der sker en form for mønstergenkendelse af den neuronale aktivitet. Hukommelse repræsenteres således ved genskabte konfigurationer i netv  rksaktiviteterne, lidt ligesom en guitar

der husker, hvordan den skal lyde ved bestemte påvirkninger. Hvordan disse dynamiske netværksrepræsentationer helt præcist formes, genskabes og gøres tilgængelige for bevidstheden er dog langt fra forstået. Men generelt mener man, at de kognitive processer skyldes emergente, dvs. tilsynekommende, egenskaber, der netop ikke ligger i de enkelte neuroner, men i det samarbejdende samlede system, der udgør det neuronale netværk. En overordnet "bevidsthed" defineres derfor af hjerneforskere som et arkitektonisk aspekt ved hele hjernens struktur. En meget vag definition, kunne man mene – det svarer til noget i retning af: "jeg har en hjerne, derfor tænker jeg" (*cerebrum, ergo cogito*), men den er måske heller ikke meget dårligere end Descartes' "jeg tænker, derfor er jeg til" (*cogito, ergo sum*).

## Bevidsthedens landskaber

Naturvidenskaben har fejret sine største triumfer i opmålingen af verden – i forsøgene på at forstå den ydre natur, dens objekter og virkemåder. Triumferne hvad angår opmålingen af menneskets indre landskaber lader dog vente på sig. På trods af en enorm af viden om os selv har den videnskabelige metode ikke evnet at komme blot i nærheden af de indsigtter, som f.eks. de humanistiske videnskaber, kunsten og litteraturen har kunnet byde på, når det gælder menneskets mentale og emotionelle livsverden.

Nye forskningsresultater inden for den eksperimentelle hjerneforskning er dog begyndt at pege på nogle interessante fænomener, som i det lange løb vil kunne bidrage til en bedre forståelse af menneskets emotioner og bevidsthedsoplevelser. Et vigtigt element i denne udvikling er, at hjerneforskere har fået en lang række nye hjernescanningsteknikker til rådighed: CT-scannerne bestråler hjernen med røntgenstråling, MR-scannere udsætter hjernen for et stærkt magnetfelt, mens EEG- og MEG-scannere lytter til de svage elektriske og magnetiske signaler fra hjernen. Man kan også sprøjt radioaktive sporstoffer ind i blodomløbet, hvis henfald i hjernen så måles ved hjælp af PET- og SPECT-scannere. Fælles for disse teknikker er, at de kan give et aftryk af hjernens tilstande i form af nogle scanningsbilleder, som man så håber kan korreleres til bestemte sindstilstande hos forsøgspersonen.

Der er selvfølgelig en fare for, at disse aftryk ikke bliver til mere end avancerede frenologiske kort, hvor man prøver at aflæse en persons karakter ud fra nogle lysende "blobs" i billedet af hjernen. Det er derfor vigtigt at

supplere scanningen med specifikke modeller og teorier, så man får en forståelse af blob-aktiviteternes opståen og funktion. Det vil så kunne bruges til diagnose og eventuel behandling af lidelser. Af speciel filosofisk interesse er her den kognitive hjernevidenskab, som beskæftiger sig med de psykologiske aspekter af hjernens funktion, det vil sige dens evne til at tage beslutninger, til at huske, til at føle og til at have en bevidst oplevelse af selvet.

Den danske hjernehorsker Morten Kringelbach (f. 1970) har peget på, at følelser spiller en central rolle i konstruktionen af de subjektive oplevelser, og at mennesker kun er bevidst om en ganske lille brøkdel af, hvad der foregår i hjernen. Bevidstheden er således ikke en rationel forklaringsmaskine, der sikrer fornuftens sejr over de irrationelle følelser. Den er snarere en forsinkel talsmand for den store familiekan af emotioner og ikke-bevidste hjernehprocesser, der i forvejen har taget de vigtigste beslutninger, om end bevidstheden naturligvis også kan influere disse processer.

Det er en mere radikal måde at betragte hjernens følelsesliv end de teorier, der opstod allerede i 1880'erne af amerikaneren William James (1842-1910) og danskeren Carl Lange (1834-1900). Uafhængigt af hinanden udviklede de ideen om, at bevidstheden kommer efter følelsen, dvs. at vi f.eks. ikke græder, fordi vi er kede af det, men tværtimod: vi er kede af det, fordi vi græder. Det er med andre ord den umiddelbare kropslige reaktion på en hændelse, der skaber en emotionel tilstand, og først derefter tolker vores bevidsthed den følelsesmæssigt. Når vi ser en bjørn i skoven, løber vi automatisk væk. Først bagefter lægger bevidstheden mærke til, at vi har en emotion, nemlig angst. Årsag og virkning synes vendt om. Den amerikanske hjernehorsker Antonio Damasio (f. 1944) har genoplivet James-Lange teorien ved at vise, at der findes nogle somatiske markører, der indsamler informationer fra kroppen, som så bliver brugt til at lave en beslutning om et valg af følelse. En sandsynlig forklaring er, at det har været en fordel i menneskets evolutionshistorie at reagere hurtigt på en hændelse, hvorimod en bevidsthedsmæssig årsagsforklaring for kroppens tilstand godt kunne vente lidt.

Der er dog mange uafklarede problemer med sådanne kropscenterede teorier om bevidstheden. F.eks. kan lammede mennesker ikke løbe væk, når de møder en bjørn, selvom de føler lige så stor angst som alle andre. Ikke desto mindre viser disse opdagelser, at sammenhængen mellem emotioner, følelser og bevidsthed er yderst kompliceret. Den metafysiske dualisme – dvs. ideen om at der er en klar adskillelse mellem hjernen som kropsmaskine og

bevidstheden som tankens rationelle instans – er der ikke mange, som tror på længere. Og den nye hjerneforskning har da også gang på gang vist, at man kan ændre på bevidsthedstilstanden ved direkte manipulationer af hjernen.

Resultaterne skaber også visse problemer for moralfilosofien og ideen om den frie vilje. For hvis vores bevidsthed effektivt er en bagudrettet erfaring af allerede udførte handlinger og beslutninger, så kan der jo ikke være megen plads til en fri vilje eller en morallære, der kræver, at man bevidst vælger mellem en række forskellige handlemuligheder, uafhængigt af emotionelle fornemmelser. Ifølge den amerikanske bevidsthedsforsker Benjamin Libet (1916-2007), der i en række eksperimenter har vist, hvordan bevidstheden om en given tilstand først opstår ca. et halvt sekund efter, at en handling er blevet besluttet i hjernen, kan den frie vilje kun manifestere sig gennem en slags veto – dvs. i form af en bevidst undertrykkelse af instinktet. En bevidst fri vilje kan derfor kun opnås på de få områder, hvor mennesket tillige er i stand til at udøve bevidst selvkontrol og hedonistisk tilbageholdenhed.

De fleste hjerneaktiviteter er dog som sagt uden for bevidsthedens domæne. Eksperimenter viser, at der eksisterer mange uafhængige mekanismer i hjernen, som gør deres egne ting, uden nogen overordnet dirigent, og nogle gange med de mest forunderlige fænomener til følge. Et godt eksempel er det såkaldte blindsyn. Der findes mennesker, som efter en hjerneskade bliver funktionelt blinde. Alligevel kan de se. De går ind i vægge og har ingen bevidste visuelle informationer, men hvis de bliver tvunget til at tage en beslutning ud fra nogle visuelle valgmuligheder – f.eks. om der foran deres øjne er et X eller et O – gætter de ofte rigtigt og kan handle ud det. Deres fysiologiske evne til at se er intakt, men informationen når aldrig frem til bevidstheden.

I lyset af sådanne opdagelser kan det være fristende at reducere ideen om selvet og om sjælen til en illusion. Vores erfaring af os selv er ikke andet en vores neuroners dans, og enhver overbevisning – om den så er moralsk, filosofisk eller religiøs – er et neuronalt gøglespil. Som det er sket så mange gange før i naturvidenskabens filosofiske historie, er der dog fare for, at man her fanges i en reduktionistisk fejlslutning, dvs. i tanken om, at blot fordi man kan simplificere tingene, så må tingene være simple. Men man kan også tolke de nye opdagelser mindre reduktionistisk og mere konstruktivistisk. Man kunne i stedet forstå oplevelsen af selvet og af sjælen som en tilkæmpet færdighed, en emergent evne, opstået som følge af langvarig træning og samarbejde mellem de mange kognitive elementer. Der eksisterer dog ikke nogen

Jane Goodall (f. 1934) er berømt for at være den første primatolog, der begyndte at studere aber i deres naturlige omgivelser og deltage i deres sociale liv. Uden sprog foregår kommunikationen primært ved hjælp af imitation. Her ses Goodall synge duet sammen med en chimpanse. Foto: Michael Neugebauer.

konsensus blandt forskerne om denne sag, og man må huske på, at hjernevidenskaben kun først lige er begyndt at vise resultater.

En af de mere betydningsfulde opdagelser blev lavet af italieneren Giacomo Rizzollatti (f. 1937) og kolleger fra universitetet i Parma, der placerede elektroder på makakabers hjernebark for at måle deres neuronale aktivitet, når de foretog simple gribbebevægelser som f.eks. at række ud efter et æble. Det viste sig, at artsfæller ved siden af, som observerede handlingen, aktiverede de samme neuroner som de æble-gribende aber, dog uden selv at røre på sig. Videre analyser viste, at disse neuroner laver en slags spejling af andres handling, og stimulerer derved tilsvarende muskler i kroppen.

Det unikke ved disse såkaldte spejlneuroner er, at de er det første tegn på en forståelse af andres intentioner. Mange handlinger, som f.eks. gaben, virker smittende på artsfæller, og spejlneuronerne kan være et væsentligt skridt i retning af en social erkendelse. Ifølge den fremtrædende hjerneforsker Vilayanur S. Ramachandran (f. 1951) er opdagelsen af spejlneuroner lige så vigtig for psykologien, som opdagelsen af DNA var vigtig for molekylærbiologien. Han mener, at spejlneuronerne gemmer forklaringen på mange af menneskehedens unikke bedrifter, f.eks. vores evne til at have empati over for hinanden, vores udvikling af kunst, sprog, religion og alle de civiliserende teknologier, som f.eks. madlavning og brugen af skræddersyet tøj. Selvom der er et langt spring fra spejlneuroner til sprog og kunst har opdagelsen givet næring til mange spekulationer om, hvorvidt erkendelse og selverkendelse er opstået som en konsekvens af spejlneuronerne – først som erkendelse af den anden via simpel imitation, og dernæst via dobbeltspejlinger, hvor man kan se sig selv blive imiteret af den anden.

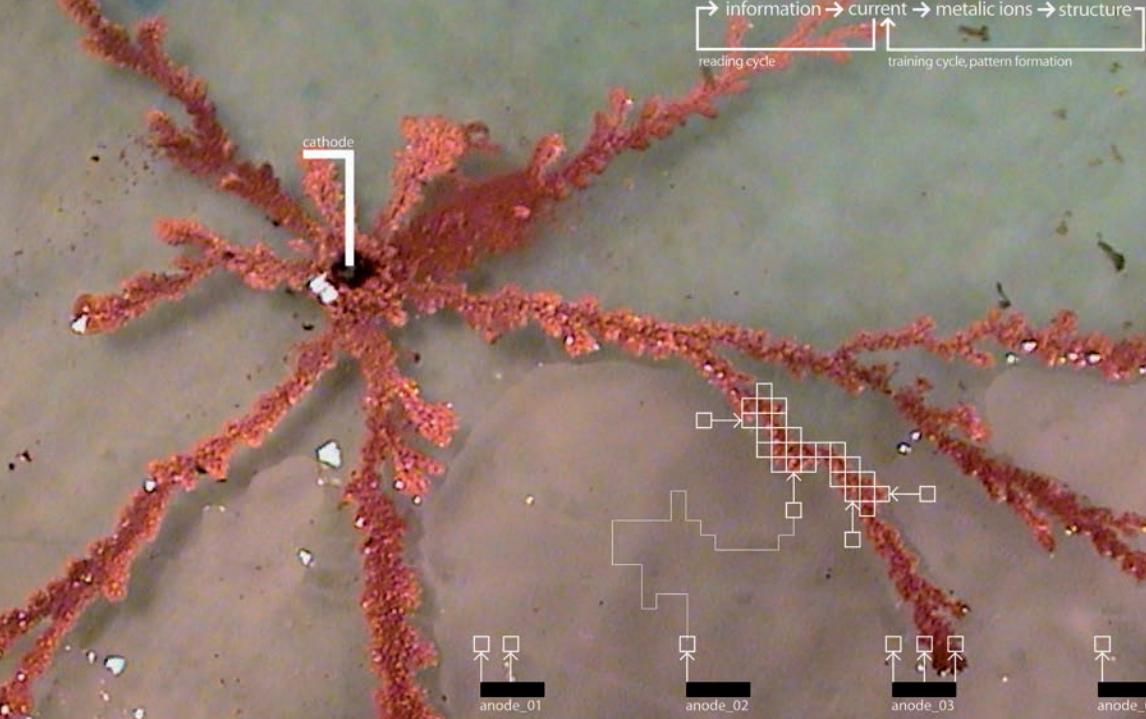


## AI, AL og kunstige neurale netværk

Forskningen i kunstig intelligens og kunstigt liv – ofte kaldt AI og AL, “Artificial Intelligence” og “Artificial Life” – har i mange år været højprofilerede områder inden for naturvidenskaben. Den havde en anden tilgang til forståelse af bevidstheden og prøvede i perioden mellem 1950 og 1970 at lave en kunstig bevidsthed “top-down”, dvs. ved at designe en maskine, som var tilpas kompleks til at simulere en komplet menneskelig intelligens, populært eksemplificeret ved computeren HAL i Stanley Kubricks (1928-99) film *2001 – A Space Odyssey* fra 1968. Inden for denne “klassiske” AI-forskning brugte man mest symbolske manipulationer af abstrakte koncepter, Turing-tests og kybernetiske kontrolprogrammer med masser af feedback. På den måde håbede man at kunne konstruere en intelligent maskine med bevidsthed oppefra, dvs. designet som af en arkitekt, og ikke selvorganiseret som en myretue. Men i løbet af de følgende årtier opgav mange forskere ideen om at skabe kunstig intelligens på denne måde. Det var alligevel svært at anskue hjernen som et planlagt computerprogram, for i så fald ville den ikke lave andet end at udføre helt konkrete og ufleksible sekvenser af beregninger, hvilket ikke var noget, der kunne føre til selv-korrektion eller bevidsthed. Hvis en maskine skulle kunne kaldes levende, skulle den kunne lære og reagere på omverdenen.

I de sene 1950’ere konstruerede de engelske kybernetikere Stafford Beer (1926-2002) og Gordon Pask (1928-96) en række elektrokemiske maskiner med “emergente sanseevner”. Det var tænkt som en slags feedback-systemer, der skulle kunne konstruere egne sensorer til f.eks. lyd- eller magnetisk genkendelse. På den måde skulle disse kybernetiske organismer kunne vælge deres relation til omverdenen, selvorganiseret og helt uafhængigt af ekstern kontrol. Ultimativt var det håbet at erstatte menneskelig virksomhedsledelse med et naturligt økosystem, f.eks. en dam eller en sø, der indeholder et utal af forskellige elementer i en naturlig ligevægt, og som altid skulle kunne tilpasse sig i forhold til nye betingelser. Ligesom det var tilfældet med den tidlige AI, mislykkedes forskningsprogrammet. Der mangler en fundamental forståelse af levende systemers opbygning og selvkontrol, og de kunstige repræsentationsformer, som Pask og Beer byggede, var slet ikke sofistikerede eller fleksible nok til at gøre noget som helst på egen hånd.

Parallelt med “top-down”-paradigmer fandtes også en “bottom-up”-tilgang i AI- og AL-forskningen. Her forsøgte man at udvikle intelligens



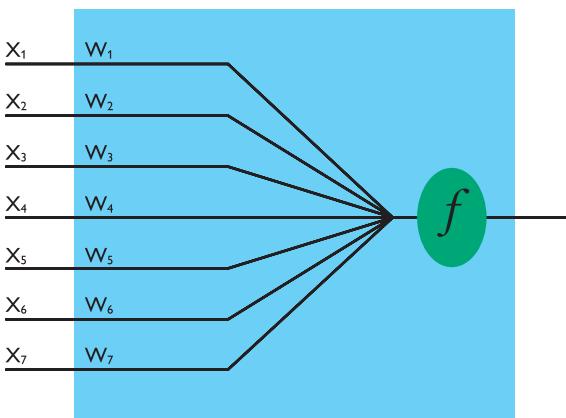
og liv nedefra, ud fra basale byggeklodser, og derefter langsomt forbedre netværket gennem automatiserede selektionsprocesser. Det mest kendte forskningsområde inden for denne gren er de såkaldte kunstige neurale netværk. Hvis hjernens aktiviteter kan beskrives som neuroner, der sender informationer til hinanden, burde det være muligt at simulere aktiviteterne med nogle kunstige neuroner, forbinde dem i store netværk og lave en kunstig hjerne. Denne form for AI-forskning opstod også i 1950’erne, men først i 1980’erne etableredes store forskningsprogrammer i USA og Japan for at undersøge holdbarheden af dem. Det viste sig faktisk, at de kunstige neurale netværk kan ”lære” ting. Når der er nok neuroner i de kunstige neurale netværk, kan de trænes til at gøre nyttige ting, såsom at klassificere elementer og identificere mønstre i data. De kan organisere sig selvstændigt og skabe egne repræsentationer og tilmed være stabile over for støj. Især i forhold til at finde værdier i optimeringsprocesser udtrykt ved matematiske funktioner kan de kunstige neurale netværk bruges med fordel.

Men det blev hurtigt klart, at de kunstige neurale netværk bestemt ikke

I denne reproduktion af Gordon Pask's elektrokemiske computer ses selvorganiseringen af en såkaldt dendrit-lignende struktur, der opstår ved hjælp af elektriske impuls'er i en oplosning af jernatomer. Selve strukturen giver information tilbage til det elektriske apparat om, i hvilken retning impuls'er skal løbe, og skaber derved en feedback-mekanisme. Dendritten kan så trænes til at associere bestemte input med bestemte output, og – i teorien – bruges som et sanseapparat for de omkringliggende elektrokemiske forhold · Pablo Miranda Carranza/www.armyofclerks.net.

kunne hamle op med rigtige hjerner. De kom ikke i nærheden af at genskabe de gruppodynamikker, der findes i rigtige neuronale netværk, og de kunne heller ikke simulere mere “simple” kollektive fænomener, som de f.eks. kendes fra amøber. Mellem de encellede amøber og ciliater kan der f.eks. opstå flercellede strukturer og mønstre, uden at der findes et fælles nervesystem, som styrer og overvåger processen. Amøbers samarbejde er baseret på nogle biokemiske processer i selve deres cytoplasma, som svarer til, at de udfører en række logiske operationer som respons på eksterne stimuli. Disse netværk af levende celler må på en eller anden måde adskille sig væsentligt fra deres kunstige, siliciumbaserede kopier gennem deres mangfoldige molekylære tilstande og ved at have en særdeles fleksibel og tilpasningsdygtig intern arkitektur. Disse fænomener er slet ikke forstået til bunds og kan stadig ikke reproduceres af forskerne.

I dag bruges kunstige neurale netværk og andre AI-applikationer som kontrolprogrammer til robotter, til maskinoversættelse, computerspil, computeralgebrasystemer, sikkerhedssystemer, genetiske algoritmer osv. – typisk på områder med rigeligt støj og et højt antal af signalklasser, som skaber stor usikkerhed om, hvor de optimale løsninger skal findes. De meget store forventninger til AI-forskningen blev altså ikke indfriet. Tværtimod fik AI-forskningen ry for at være mere hjernesind end realitet, og for at have en manglende ydmyghed over for den kompleksitet, der findes i levende organismer. Denne karakteristik er en smule hård, for selvom man måske ikke er kommet meget nærmere på en forståelse af cellers opførsel, endsige på en forståelse af den menneskelige intelligens, har mange forskningsresulta-



I 1957 udviklede amerikaneren Frank Rosenblatt (1928-69) et kunstigt neuralt netværk, som han kaldte en perceptron. Den var en simpel “feed-forward”-mekanisme, hvilket vil sige, at den kunne reagere på en foruddefineret måde over for ekssterne påvirkninger (til forskel fra en feedback-mekanisme, som bruger outputtet som en del af inputtet). Perceptronen kunne lære at kende forskel på forskellige mønstre, men det viste sig hurtigt, at den havde meget begrænsede evner og heller ikke kunne kende forskel på simple enten-eller situationer. På billedet ses en skematisk version af perceptronen, hvor forudbestemte vægte ( $x$ ) tilskrives et input ( $w$ ), som så sendes videre til en funktion ( $f$ ), der producerer et output ( $y$ ).

ter som følge af AI-forskningen udviklet sig til helt nye discipliner med nye navne. Blandt nogle af disciplinerne kunne man nævne fuzzy logic (s. 295) og den matematiske spilteori (s. 373).

De teknologiske resultater af AI-forskningen er mangfoldige og strækker sig fra datalogi over optiske genkendelsessystemer af håndskrift og levende billeder til skakcomputere og andre specialiserede ekspertsystemer inden for industri og produktion. Også inden for populærkulturen er mange af de tidlige drømme om at skabe kunstig intelligens og kybernetiske menneske-maskiner bibeholdt i form af cyborg-fortællinger og stadig mere fantasifulde science fiction-film om dystre maskinkontrollerede fremtidssamfund.

## Den digitale overtagelse

Opfindelsen af transistoren og den efterfølgende opdagelse af halvledere og teorien bag dem omkring 1950 var afgørende for udviklingen af computeren. I dag er flere millioner mikroskopiske transistorer pakket ved siden af hinanden på små siliciumchips, kaldet integrerede strømkredse. Det er dem, der danner skelettet for digitale teknologier som computere, mobiltelefoner, cd'er, mp3-filer og dvd'er.

Årsagen til, at det netop blev siliciumatomer, der dannede basis for computerchips, er, at de er halvledende, dvs. at de både kan lede strøm og ikke lede strøm, alt efter hvor mange urenheder krystallen indeholder, og alt efter hvordan de manipuleres. Netop urenhederne gør det nemt at kontrollere, hvordan elektricitet strømmer igennem dem. Og dette er ideelt, hvis man vil lave komplicerede regnemaskiner – computere – ved at pakke millioner af transistorer (i form af mikroprocessorer og hukommelseschips) tæt sammen på et stykke silicium og guide strømmen igennem de forskellige dele.

I perioden mellem 1960 og 1980 er regnekraften på de siliciumbaseerde computere således steget eksponentielt. Dette kaldes nogle gange for "Moores lov". Den siger, at den mængde information, der kan lagres på en chip, fordobles hvert år. Loven blev først formulert af halvlederingeniøren Gordon Moore (f. 1929) i 1964 (han var med til at grundlægge IT-firmaet Intel fire år senere), og den holdt vand indtil 1980, hvorefter fordoblings-tiden steg til 18 måneder. Man regner med, at den nedre grænse for transistorers størrelse er 100 nanometre, hvilket svarer til, at der kan være ca. 50 millioner transistorer på en enkelt chip. Det er en naturlig grænse, bl.a.



Verdens første transistor fra 1947 og en moderne siliciumchip, der fylder en brodel, men alligevel indeholder flere millioner lignende transistorer.



fordi endnu mindre transistorer ville udvikle uønskede kvantoeffekter, der ville ødelægge de elektriske signaler. Dermed ikke sagt, at industrien har opgivet håbet om endnu mindre enheder – i laboratorier verden over, på universiteter og hos store firmaer som IBM, Bell Labs, Sony, GE og AT&T, forskes der i mulighederne for at erstatte fremtidens strømkredse med organiske stoffer, DNA og endda bakterier. Man har tidligere forsøgt at udskifte silicium med stoffet gallium arsenid og med

The European Laboratory for Particle Physics, located near Geneva[1] in Switzerland[2] and France[3]. Also the birthplace of the World-Wide Web[4].

This is the CERN laboratory main server. The support team provides a set of Services[5] to the physics experiments and the lab. For questions and suggestions, see WWW Support Contacts[6] at CERN

About the Laboratory[7] - Hot News[8] - Activities[9] - About Physics[10] - Other Subjects[11] - Search[12]

#### About the Laboratory

[Help\[13\]](#) and General information[14], divisions, groups and activities[15] (structure), Scientific committees[16]

[Directories\[17\]](#) (phone & email, services & people), Scientific Information Service[18] (library, archives or Alice), Preprint[19] Server

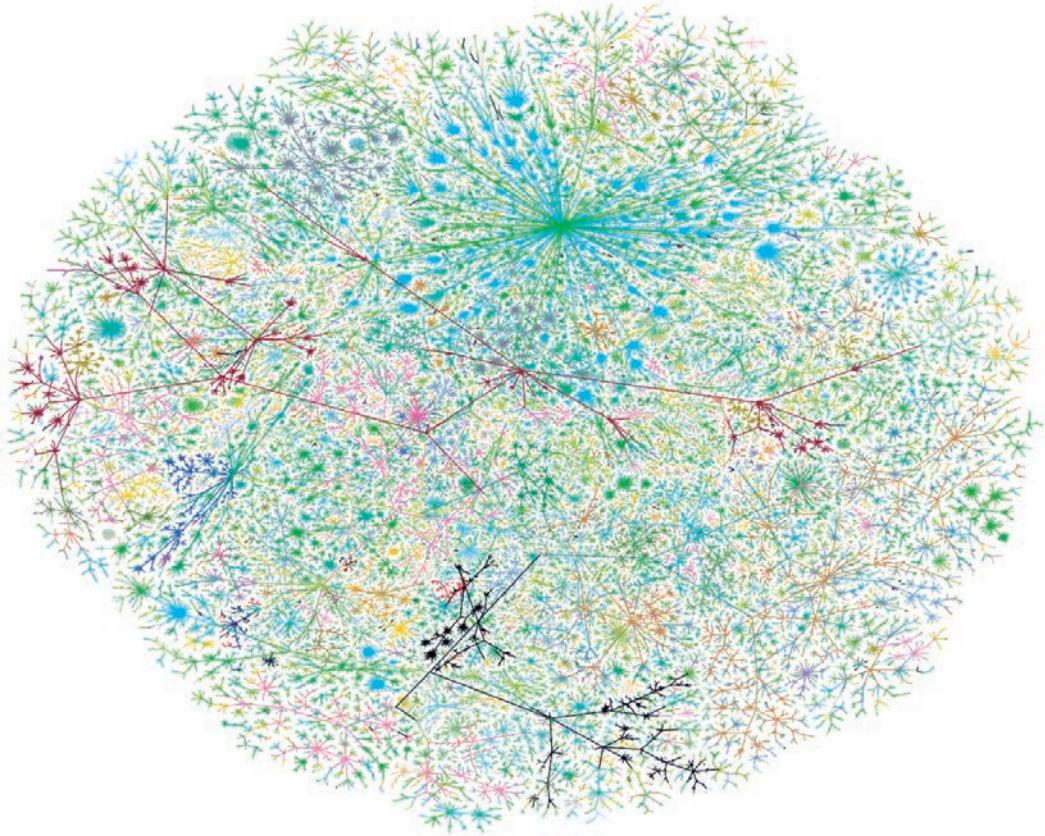
1-45, Back, Up, <RETURN> for more, Quit, or Help: █

optiske enheder, men det er endnu ikke lykkedes at finde troværdige alternativer til den silicium-baserede variant i nutidens regnemaskiner.

Ideen til et “galaktisk netværk” af computere med mange af de funktioner, vi i dag kender fra internettet, blev formuleret af den amerikanske AI-forsker J.C.R. Licklider (1915-90) i 1962. Kort tid efter iværksatte det amerikanske forsvarsministerium et forskningsprojekt ved navn ARPANET, som skulle virkeliggøre nogle af de ideer, Licklider og en række andre AI-forskere arbejdede med. Det handlede bl.a. om at lave computernetværk, som kunne transportere datapakker og etablere decentraliserede sikkerhedssystemer, og motivationen bag initiativet var i første omgang at se, om man kunne skabe en elektronisk kommunikationsinfrastruktur, der kunne modstå et atomvåbenangreb fra Sovjetunionen. Det viste sig imidlertid hurtigt, at netværket var nyttigt på mange andre områder, bl.a. til vidensdeling og interne emails. Universiteter begyndte at opføre interne netværk, intranet, og i løbet af 1980’erne blev mange af de separate netværk fra forskningsmiljøerne samlet sammen til stadig større netværk. “Det globale hypertext-projekt”, også kaldt World Wide Web, blev startet i 1990 af CERN (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire), der begyndte at forbinde tekstsider til hinanden via hyperlinks. Siderne og deres henvisninger kunne så læses af mennesker helt andre steder på kloden, alene med en

Her ses internettets fødsel. Dette er verdens første hjemmeside fra 1990, sådan som den så ud i en normal tekstbaseret browser. Adressen var <http://info.cern.ch/hypertext/WWW/TheProject.html>.

CERN, Geneve.



browser og simple klik med musen. Det var så stor en succes, at der i de følgende år blev lavet millioner og efter millioner af offentlige og private hjemmesider, der alle blev koblet til det store internet.

Internettets infrastruktur kan ses som en digital udgave af et økosystem. Det består af et væld af individuelle komponenter, som organiserer sig i en fødekæde af informationer. Der dannes relationer og separate cybersamfund, som kan være ganske utilgængelige og uforståelige for fremmede. Emails og WWW indeholder ingen strukturelle begrænsninger for, hvad der kan kommunikeres for eller med, og alverdens subkulturer har fundet et ideelt tilholdssted i computernetværkets uendelig mange nyhedsgrupper, emails, diskussionsfora, spilservere og websider. Men som rygrad for internettet ligger der et kompliceret netværk af netudbydere (eller ISP'ere, Internet Service Providers), routere, satellitter og kabler, som danner de store og små blodårer, der transporterer budskabet frem til modtageren. Hver time bliver der atter og atter koblet tusinder af enheder og optiske fibre på dette

◀ Hvordan ser internettet ud? Linjerne viser de veje, en email kan tage hen over nogle af de største netværk. Hver forgrening svarer til en ny netværksrouter, og farverne svarer til det geografiske område, hvor routerne står.

Patent Pending & Copyright © Lumenta Corporation. All Rights Reserved.

pumpende legeme, og der findes intet centralt organ, som organiserer eller styrer det kaotiske filament af tilslutninger.

De kulturelle konsekvenser af internettet var og er enorme. Man talte ikke længere om industrisamfundet, men om informationssam-

fundet og videnssamfundet. Man begyndte at kunne købe ind via sin hjemmekomputer, sende egne tekster og billeder til kolleger, venner og familie via computer, hente alverdens informationer, nyheder og meninger fra online databaser. Man kunne lave wikier og blogs, og man kunne spille grafisk meget avancerede computerspil mod hinanden. Kombineret med trådløse og mobile enheder er den totale digitalisering af hverdagen kommet inden for rækkevidde. Et ”globaliseret” samfund, hvor ikke blot passiv modtagelse af alverdens informationer, men også aktiv vidensdeling og samarbejde er blevet mulig i internettets kringelkroge. Denne bog er f.eks. blevet til i et samarbejde online, ved hjælp af en wiki og en række blogs.

Sideløbende med den enorme eksplasion i antallet af computere udvikledes en anden teknologi, der har haft mindst lige så stor betydning for det globaliserede informationssamfund som internettet. Denne teknologi er i modsætning til computeren gammel og velkendt, nemlig den trådløse telefoni. Var elektroingeniøren Nikola Tesla (1856-1943) blevet født et par årtier før Alexander Graham Bell (1847-1922), havde historien måske set anderledes ud. Telefonerne ville for længst have været 100 procent trådløse, og samtaler over kontinenterne ville være båret af frit svævende radiobølger i stedet for de samme elektriske pulser, som Bell brugte i sin egen kobbertrådtelefon fra 1876. I stedet har man ventet i knap 100 år på, at Teslas opfindelse af telekommunikationen fra 1893 er blevet hvermandseje i form af mobiltelefoner. Siden er det gået stærkt. Internettet har åbnet for et kolossalt spektrum af muligheder for at bruge disse mobile enheder, som i kombination med avanceret computerteknologi strømmer ind over markedet.

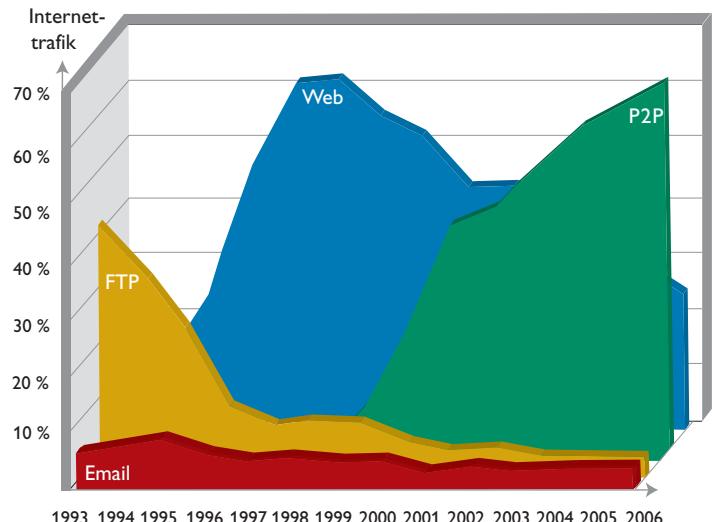
Der er sket så meget, at Nikola Tesla end ikke i sin vildeste fantasi kunne have forestillet sig omfanget af de anvendelser, vi nu har fået. Og det betyder ikke så lidt. For kroatiskfødte Tesla, der boede i USA, var en fantast. Han lavede ikke kun 41 meter høje kunstige lyn og byggede fjernstyrede både, han iværksatte også arbejdet på et stort trådløst telekommunikationstårn på Long Island, der skulle levere lyd, billeder, vejrudsiger og aktiekurser til

alle Amerikas borgere – et projekt, som dog senere blev droppet på grund af arbejderopstand og finansieringsproblemer. Men Tesla havde ret. Han var opfinderen, der i dag er næsten glemt, og som oven i købet er blevet overtrumfet af historiebögernes ukorrekte oplysninger om, at det var italieneren Guglielmo Marconi (1874-1937), der var den første, der opfandt den trådløse telefoni i 1895.

Teknologisk set er trådløs kommunikation ganske simpel. Den baserer sig på radiobølger. De fleste radiotransmissioner indeholder to komponenter: en bærebølge og et signal. Bærebølgen kan forstås som et koretøj. Det er den frekvens, man indstiller sin radio til. Signalet er så passageren. Det kommer fra en mikrofon, et tv-kamera eller en internetforbindelse. Signalet er påtrykt bærebølgen i en proces, som man kalder modulation. Den hyppigste måde at modulere på er FM (frekvens modulation), og den gør, at bærebølgen spredes proportionalt med signalets overførselshastighed. Et 10.000 bps (bits pr. sekund) budskab vil f.eks. få bærebølgen til at spredes med 10 KHz til hver side. Det er derfor, at radiostationernes frekvenser skal være adskilte fra hinanden.

En af årsagerne til, at mobiltelefonen ikke har haft tiden med sig før nu, er, at etableringen af et globalt mobilt netværk, hvor alle kan ringe til alle, kræver et enormt udviklingsarbejde i infrastruktur. Alle de mange elementer, som skal gøre teknologien enkel at anvende, bliver nødt til at passe sammen. Og mens firmaer kæmper for at blive enige om fælles protokoller og standarder, og mens ingeniører er godt i gang med at planlægge og bygge, kommer der pludselig en ny teknik, som er endnu bedre og endnu stærkere, men som kræver en helt anden infrastruktur. Det problem har man til en vis grad allerede haft i overgangen fra de forskellige mobiltelefon-generationer. I slutningen af 1980’erne startede man med analoge mobiltelefoner, som overførte almindelige tovejs FM-radiobølger, der var moduleret til at passe til lyden af menneskets stemme. Fra begyndelsen af 1990’erne brugte man andengenerations mobiltelefoner, der omdanner lyden til samplede bits af data, dvs. til digital form, som så blev båret af modulerede radio- eller mikrobølger. Samtalerne kunne på denne måde presses bedre sammen, og selvom lyden blev en del dårligere end hos de analoge forgængere, kunne teleselskaberne presse flere kunder sammen på mindre båndbredde og dermed tjene flere penge. Den lave båndbredde er dog et problem, fordi man kun kan overføre lavinformationsdata som f.eks. lyd og simple tekststrenge.

Internetbrugere udviklede hurtigt fildelingsprogrammer som f.eks. Napster og Kazaa, som blev brugt til at dele mp3-filer og videoer med. Det førte til en række retssager, fordi kunstnere følte deres ophavsret krænket. Selvom nogle af programmerne blev forbudt, viste de vej til mere sofistikerede peer-to-peer (p2p) fildelingsprogrammer som f.eks. BitTorrent og eDonkey, der var langt sværere at erklares ulovlige. I et studie fra 2005 viste det sig, at p2p-trafikken over internettet allerede i 2003 havde overgået både FTP-, email- og web-trafikken. Andrew Parker: "P2P in 2005", www.cachelogic.com.



Den enorme vækst i antallet af private computere, mobiltelefoner og internetfirmaer skabte i nogle år en hektisk økonomisk overvurdering af hele den digitale telekommunikationsindustri. Det blev kaldt dotcom-boblen, og da den brast i 2001, gik mange nystartede firmaer konkurs. Der fulgte en periode med mere besindig vækst, og nye udviklinger – bl.a. indførsel af fælles trådløse netværksstandarder, gps-teknologier og billige trådløse sensorer – har fået det digitale marked til igen at tro på fremtiden. Disse teknologier forventes at blive integreret i en lang række produkter og dermed danne basis for "kloge" netværk, der kan tilpasses individuelle behov. Desuden har fremkomsten af bruger-genereret indhold via blogs og wikier skabt en understrøm af langt mere differentieret og specialiseret kommunikationskultur, hvor man i stedet for at downloade indhold fra store "broadcast" mediehuse taler direkte til hinanden – fra bruger til bruger.

De digitale udgaver af produkter som skrift, musik, fotografier og film har udfordret den klassiske forståelse af, hvad "produkt" og "ejerskab" overhovedet er for størrelser. Man kan jo ikke rigtig eje de nuller og ettaller, som det nyeste hit består af. Eller kan man? Selv de mest almindelige ting og materialer er begyndt at blive betragtet ud fra en informationsnetværkstanke. Når man f.eks. køber en cd, køber man i virkeligheden tre ting: den information, som den indeholder, det fysiske materiale, hvorpå informationen er trykt, og den kontrakt, ifølge hvilken man har licens til at se informationen, dog uden at man må kopiere eller mangfoldiggøre den. Med informationsalderen får det fysiske medie stadig mindre betydning, da det vil være udskif-

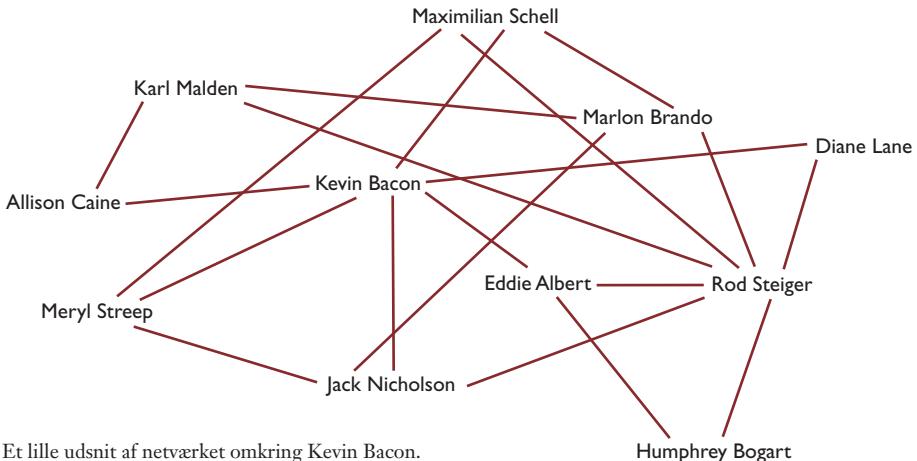
teligt i det uendelige – som når man overfører sine data fra én harddisk til en anden. Flere og flere objekter – det være alt fra telefoner til film – bliver derfor ikke længere solgt, som ting man kan eje, men som licenser og abonnementer, hvor man kun køber retten til at holde atomerne i en specifik og ophavsretsmæssigt beskyttet konfiguration.

Digitaliseringen har også fået konsekvenser for en lang række professioner, som tidligere var knyttet til specifikke materialer og kompetencer. Forskeren skal pludselig være programmør, arkitekten skal bruge kompliceret visualiseringssoftware i stedet for at tegne, og musikeren skal nærmest være systemanalytiker i stedet for blot at kunne spille på et instrument. Der er ingen tvivl om, at den digitale overtagelse af de gamle analoge kommunikationsteknologier – såsom breve, telefoner, tv og kassettebånd og mange, mange flere – har haft en enorm betydning for den sociale og økonomiske udvikling. Og den vil blive ved med at transformere samfundene i lang tid fremover.

## Små verdener

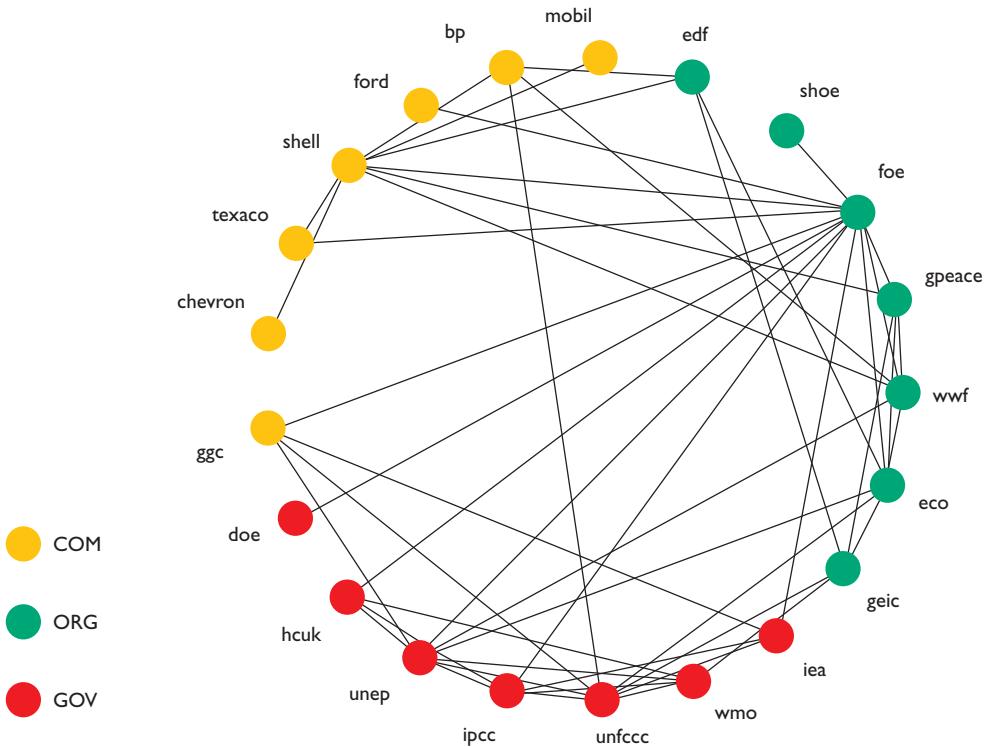
Internettets store databaser og massive online-communities har gjort, at ikke kun sociologer, men også fysikere er begyndt at studere dynamikken i sociale netværk.

I 1930’erne opfandt psykologen Jacob Moreno (1889-1974) som den første nogle sociogrammer, hvorved han kunne repræsentere folks sociale forbindelser ved hjælp af simple prikker og linjer. Det var dog en meget besværlig metode, idet et enkelt sociogram krævede mange timers interview. I midten af 1960’erne lavede den kontroversielle amerikanske socialpsykolog Stanley Milgram (1933-84) de første konkrete forsøg, hvor han fik forsøgs-personer fra Nebraska til at sende almindelige gammeldags breve til en, der måske kendte en osv., for til sidst, med lidt held og dygtighed, at nå frem til en bestemt person i Boston. Milgram kunne vise, at det ikke krævede mere end seks led at komme i kontakt med hinanden. Resultatet af denne forskning går under navnet “Six Degrees of Separation”, og det er senere blevet vist, at det faktisk gælder alle mennesker her på kloden. Man vil i princippet, hvis man er dygtig, altid kunne finde en ven, som har en ven, som har en ven, som har en ven, som har en ven, som kender den person, man netop erude efter at møde – hvad enten det er en bonde i Tadsjikistan eller en



præst på Påskeøerne. Det er med andre ord en lille verden, vi lever i. I dag er man i stand til at analysere ekstremt store sociale netværk, og de viser alle det samme ”lilleverdens-fænomen”: mennesker samler sig i sociale grupper, som er meget tæt forbundne, mens der grupperne imellem kun er få forbindelser, men netop nok til at forbinde alle til alle. Det er derfor ikke så underligt, at vi ofte møder mennesker med en fælles bekendt. Vi har slet ikke så stort et udvalg, som vi går og tror. Og vi vil altid kunne bruge vores netværk. I 1990 producerede amerikaneren John Guare (f. 1938) et Milgram-inspireret teaterstykke, *Six Degrees of Separation*, der handlede om amerikarnernes besættelse af berømtheder. I 1993 blev stykket filmatiseret, og få år efter kunne man købe spillet *Six Degrees of Kevin Bacon Game*, hvor man skal finde den korteste afstand mellem to skuespillere. F.eks. har Elvis Presley spillet sammen med Edward Asner i *Change of Habit* (1969), som har spillet sammen med Kevin Bacon i *JFK* (1991). Derfor har Elvis Bacon-nummeret 2. Den samme leg findes blandt matematikere, hvor tallet hedder Erdős-nummeret, opkaldt efter den højt produktive ungarske matematiker Paul Erdős (1913-96).

Den stærke niche-dannelse blandt dyrearter, som man kender fra biologien, synes altså også at gælde internt for mennesket, hvad angår sociale og kulturelle tilhørighedsforhold. En række undersøgelser af salget af politiske bøger på amazon.com i begyndelsen af det 21. århundrede viste således, at køberne opdelte sig konsekvent i to politiske grupperinger, som internt havde et stærkt fællesskab, men som ikke snakkede med hinanden på tværs. Den ene



Undersøgelse fra 1998 af hvem der linket til hvem i klimadebatten. .gov-siderne refererer stort set kun til hinanden; .org-siderne er meget omfangsrige og selektivt liberale, og .com-siderne omtaler aldrig hinanden (fordi de er konkurrenter), ligesom de er endnu mere selektive i deres links end .org-siderne.

gruppe købte bøger, som var kritiske over for USA's udenrigspolitik, og den anden købte bøger, som var positive over for USA's udenrigspolitik. Men de to grupper købte aldrig hinandens bøger. Det viser, at begrebet "offentlighed" kan være en meget balkaniseret størrelse, der bl.a. er kendetegnet ved, at grupper af mennesker taler til (eller forbi) hinanden i stedet for med hinanden, bruger forskellige ord, tankesæt og værdigrundlag, og muligvis isoleres yderligere fra hinanden i tidens løb, hvilket i øvrigt er i tråd med nogle af de erkendelser, man har fra den nyere kulturteori.

Ofte er de netværk, der dannes i det offentlige såvel som i det virtuelle rum, centreret omkring bestemte emner og interesser. Det er der ikke noget underligt i, fordi folk, som f.eks. interesserer sig for skak, danner deres egne internettora og -spillesteder, mens filatelisten danner helt andre klubber og hjemmesider, hvor de kan se, bytte, købe og sælge deres frimærker. Hvad der er nyt er, at denne interesseopdeling også foregår inden for helt specifikke emner, hvor man taler om den samme ting, men med meget forskellige

hensigter, og hvor diskussionen derfor ikke længere kan betragtes som en integrerende informationsudveksling, men som kampagne- og lobby-netværk, hvor informationerne snarere disintegreres. I analyser af den internationale debat om klimaet har det for eksempel vist sig, at man kan opdele aktørerne i tre grupper: “.gov”-gruppen som er de (mellem)statsligt accepterede videnskabelige undersøgelser og resultater, “.org”-gruppen, som er ngo’ere og andre interessegrupper, samt “.com”-gruppen, som er de olie-, bil-, osv. producerende firmaer. Deres indbyrdes måde at hyperlinkne på afslører, hvordan deres holdninger er, hvem de positionerer sig i forhold til, og hvem de udelukker fra det gode selskab.

Manglende links er altså et tegn for manglende anerkendelse. Hyperlinks er ikke kun neutrale springbræt til anden information på internettet, men derimod interesserstyrede midler til at indlemme eller udelukke bestemte debattører. Mange lignende undersøgelser viser, at internettet giver sociologer, psykologer, antropologer, etnologer, pædagoger osv. rig mulighed for at analysere strukturen og dynamikken i sociale og intellektuelle netværk, ofte med overraskende resultater.

## Rumskibet Jorden

Efter 1980 var udviklingsbanerne for de enkelte naturvidenskabelige discipliner for alvor begyndt at blive filtret sammen. Dataloger lavede biologiske replikationsekspimenter, fysikere undersøgte sociale netværk, kemikere byggede atomare overfladestrukturer, neurofysiologer bidrog med deres hjernescanninger til nye modeller for kognitiv psykologi og pædagogik, og den stadig mere intense instrumentalisering af sofistikerede eksperimenter og designs kunne ikke længere adskilles fra ingeniørvidenskaben. Ideen om, at grundvidenskab var adskilt fra anvendt videnskab, gav ikke længere mening. De videnskabelige fremskridt var blevet afhængige af hele spektret af tilgængelig viden, fra matematik over biologi til humaniora.

Geologer var ikke længe om at påpege, at det var dem, der var de første til at binde de videnskabelige discipliner sammen igen, da de mellem 1960 og 1980 begyndte at studere planeten Jorden som et integreret system. Ideer om kompleksitet og systemiske netværk var ikke fremmede for dem. Meteorologer og oceanografer havde længe haft store problemer med at forstå koblingerne mellem atmosfæren og havstrømme, og den moderne



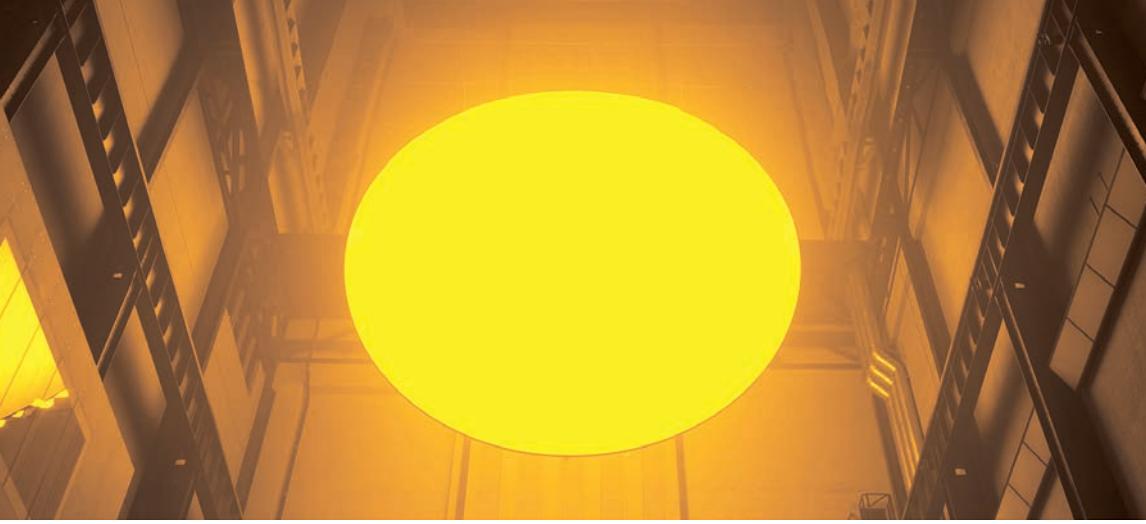
Olafur Eliassons (f. 1967) koncept for omgivelsen af omgivelserne, *Surroundings Surrounded* (2000). På modstående side ses hans *The Weather Project* (2003) © O. Eliasson/billedkunst.dk.

nelse. Som konsekvens har forskere i dag omdøbt hele dette store vidensfelt til "Videnskaben om Jorden og Verden" (*Earth and Planetary Science*).

Her i begyndelsen af det 21. århundrede står det klart, at der ikke længere er entydige skel mellem de videnskabelige discipliner. Udviklingen har betydet store omvæltninger for universiteterne, for hvordan kan man retfærdiggøre, at meteorologer ikke længere skal lære at beregne vejrudsigten – det ordner de automatiserede satellitter og sensorer jo – men i stedet lære computergrafik og gå til kurser i tale- og medietræning? Og hvordan skal man kunne opretholde tilpas høj akademisk kvalitet, når de studerende begynder at tage kurser i immunologi, kunstig intelligens og datalogi, selvom det egentlig er psykologi, de studerer? Hvordan kan man kvalitetssikre resultatet, dvs. lave *peer reviews* på de tværvidenskabelige artikler, uden hver gang at skulle indkalde et helt panel af eksperter fra de forskellige fagområder? Og hvad skal man kalde sin uddannelse? Er det nanofysik eller snarere biomekanik, man tilbyder de studerende?

Men det er ikke kun de mange fagområder og de tværvidenskabelige forskningsfelter, der skaber filosofiske tilordningsproblemer. Selve "naturligheden" af omverdenen – forstået som et ydre objekt, der står tilgængelig for en naturvidenskabelig analyse – er blevet til en konvention, der ikke altid holder vand. Hvornår kan vi sige, at en torsk er "økologisk": når den er fanget i Nordsøen, eller når den er opdrættet i et dambrug? Hvornår er en seksuel orientering "ægte": når den er genetisk eller socialt betinget? Hvornår er et

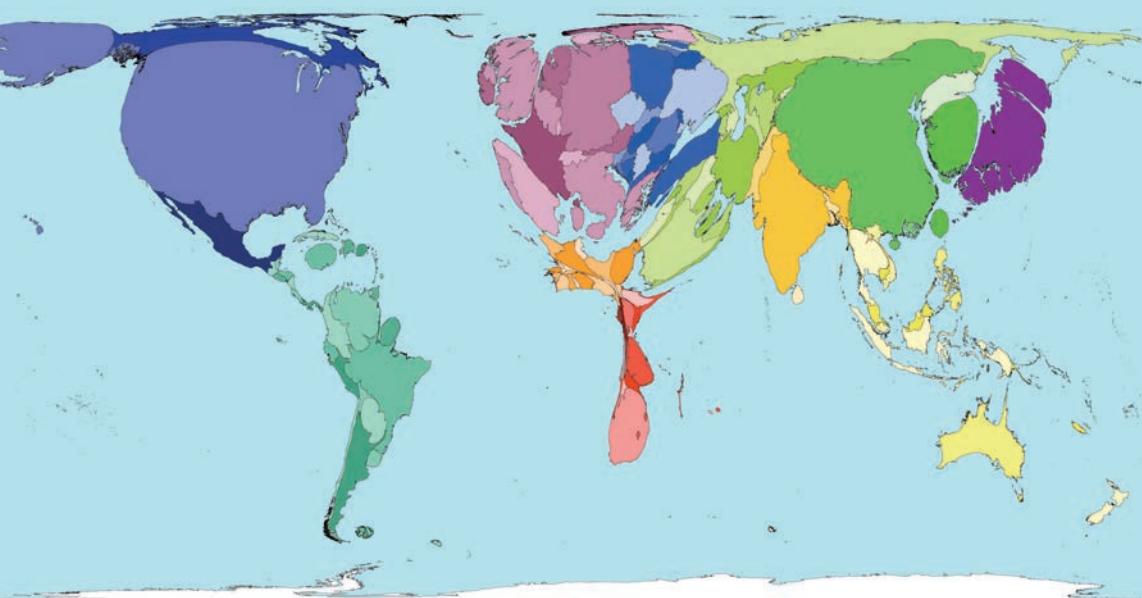
klimaforskning har krævet endnu mere avancerede modeller, der integrerer viden mange steder fra. Den tyske tværvidenskabelige forsker Alfred Wegeners (1880-1930) banebrydende teori om Jordens tektoniske plader var jo også blevet til via en kombination af viden fra palæontologien, zoologien, geofysikken og geologien. Man var ganske simpelt meget tidligt blevet klar over, at for at opnå banebrydende resultater, skulle der mere til end en klassisk geografuddannelse.



naturreservat ”naturligt”: når det er uberørt, eller når det er kunstigt skabt? Ofte er vores ”naturlige omverden” allerede selv en konstruktion, der er blevet installeret af naturvidenskabernes og kulturernes evne til at genskabe de ønskede virkeligheder. Naturen er ”omgivede omgivelser”. Man står ikke længere målløs foran de naturromantisk stiliserede helheder. Man nyder implantater og proteser, der ligesom et klimaanlæg forlængst har produceret det efterspurgte arrangement.

Til hele denne perlerække af problemstillinger føjer sig en offentlighed, der på en helt anden måde end tidligere er interesseret i naturvidenskaben. Kompleksiteten i det videnskabelige arbejde har også givet råderum for politisk fortolkning. Videnskaben er på mange måder blevet tvetydig og vag. Den kan bruges og misbruges. Den er i højere grad end tidligere blevet en del af kulturen, hvilket er kommet som en overraskelse for dem, der har været vant til kun at høre om ”sandheder” fra videnskaben. Dem, som har villet bruge forskningen til at rådføre politikerne med, har måttet erkende, at naturvidenskaben ikke længere har nogen speciel status i forhold til andre politiske temaer. Det har været det endelige dødsstød til ideen om, at den videnskabelige proces på en eller anden måde er isoleret fra de daglige kampe om legitimation og indflydelse, fordi naturvidenskaben jo har en historisk overlegen status, som burde give en naturlig autoritet, også i medierne og i parlamenteerne.

Men tværtimod. Når man står over for komplikerede beslutningsprocesser i et udviklet demokrati, viser det sig, at det videnskabelige argument er blevet lige så partisk som lobbyisternes argumenter i Bruxelles og Washington



Det kan nogle gange være brugbart at gen- tegne verdenskortet på en måde, hvor landenes størrelse gøres afhængig af noget andet end deres overfladeareal. Sådanne kort kal- des kartogrammer og kan være effektive mā- der at vise f.eks. sociale data på. Her ses et verdenskort, hvor landenes størrelse er pro- portional med deres udledning af drivhusgas- ser i 2005. Man kan tydeligt se de store ulig- heder mellem USA og Europa på den ene si- de og Afrika og Sydamerika på den anden.

Mark Newman/[www.worldmapper.org](http://www.worldmapper.org)

DC. Og ofte værre end det. Flere sociologer har vist, at naturvidenskaben ofte spiller rol- len som den nyttige idiot, fordi det er så nemt at gemme en politisk eller ideologisk agenda bag videnskabelige fakta. Utallige forsknings- artikler har også konkluderet, at forsøgene på at formidle videnskabelig viden i form af oplysende videnskabsjournalistik og offentlige debatter – med det formål at løse politiske stridigheder – ofte ender i endnu større kontroverser og fastlåste positioner. I langt de fleste tilfælde ender den offentlige dialog i en arena af spin, hvor der søges gennemsigtighed, men hvor resultatet er forvirring. Offentlige debatter med videnskabelige argumenter for og imod kan også bruges til at fjerne ansvaret fra dem, som i sidste ende tager beslutningerne, fordi der skabes et marked af meninger og følelser, fra hvilket den ansvarlige minister så kan vælge efter forgodtbe- findende. Så det videnskabelige argument har bestemt ikke vist sig at være løsningen på komplekse beslutningsprocesser.

Her er præmieeksemplet igen geofysikken, eller mere præcist klima- forskningen. På trods af en overvældende mængde data om klimavariatio- ner, drivhusgasser og fossile brændstoffer, var forskerne i starten uenige i

fortolkningen af deres virkninger. Var rumskibet Jorden på vej mod en ny istid, var den ved at blive en stor ørken, eller var klimaændringerne blot et udtryk for naturlige variationer? Og selvom flertallet efterhånden er blevet enige om, at mennesket bærer en stor del af ansvaret for klimaets forandringer, er der langt fra enighed om, hvad der skal gøres. Det blev udnyttet, og den gode videnskabelige praksis om altid at lade kritik og skepsis komme til orde blev et redskab i hænderne på folk, som ikke var interesserede i at ændre på noget som helst – eller også på det hele. En masse røg og varm luft blev således ikke kun udledt af industrien i form af drivhusgasser, men også via de globale medier, først i form af overdrevne skepsis og blændværk, senere som hysteri og hovsaløsninger.

Videnskab er en erkendelsesprocess, som skaber en relation mellem, hvad vi kan forstå og repræsentere, og hvad vi oplever “ude i virkeligheden”. Det er en udvidelse af oldtidens kartografi, hvor man dog ikke blot bruger en fjerpen til at tegne sine kort over verden med, og heller ikke kun tegner det, man kan se med det blotte øje. Naturvidenskabens filosofiske historie fortæller især om, hvordan vi ustandseligt har udvidet vores repræsentationsformer – tallet, sproget, kortet, skriften, logikken, tegninggen, algebraen, beviset, bogtrykket, fotografiet, naturlovene, diagrammet, eksperimentet, scanningen, computerprogrammet, simulationen – og brugt dem til at opdage nye dimensioner af virkeligheden og diskuteret med os selv og verden om, hvordan de kan forstås. Gennem dem har vi udvidet vores erkendelsesmæssige repertoire, fået nye ideer og er kommet nærmere en forståelse af det ukendte. Og der er intet, der tyder på, at vi er ved vejs ende. Tværtimod. Vi er lige begyndt.

# Litteratur

## Indledning

- Gaukroger, S.: *The Emergence of a Scientific Culture: Science and the Shaping of Modernity 1210-1685*, Oxford 2006.
- Huff, T.E.: *The Rise of Early Modern Science: Islam, China, and the West*, Cambridge 1993 (2. udg. 2003).
- Lloyd, G.E.R.: *Adversaries and Authorities: Investigations into Ancient Greek and Chinese Science*, Cambridge 1996.
- Lloyd, G.E.R.: *The Ambitions of Curiosity: Understanding the World in Ancient Greek and Chinese Science*, Cambridge 2002.

## Kapitel 1

- Fowler, D.H.: *The Mathematics of Plato's Academy: A New Reconstruction*, Oxford 1987.
- Lloyd, G.E.R.: *Early Greek Science: Thales to Aristotle*, New York 1970.
- Lloyd, G.E.R.: *Greek Science after Aristotle*, New York 1973.
- Pichot, A.: *Die Geburt der Wissenschaft. Von den Babylonier zu den frühen Griechen*, Darmstadt 1995 (fransk org. 1991).
- Schrödinger, E.: "Nature and the Greeks" and "Science and Humanism", Cambridge 1996.

## Kapitel 2

- Cantor, N.F.: *The Civilization of the Middle Ages*, New York 1993.
- Crombie, A.C.: *Augustine to Galileo*, London 1970 (1. udg. 1952).
- Haaning, A.: *Naturens lys. Vestens naturfilosofi i højmiddelalder og renæssance 1250-1650*, København 1998.
- Pedersen, O.: *Studium Generale. De europæiske universiteters tilblivelse*, København 1979.
- Radding, Ch.M. og W.W. Clark: *Medieval Architecture, Medieval Learning: Builders and Masters in the Age of Romanesque and Gothic*, New Haven, Conn. 1992.

## Kapitel 3

- Biagioli, M.: *Galileo Courtier: The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago 1993.
- Burke, P.: *A Social History of Knowledge: From Gutenberg to Diderot*, Cambridge 2000.
- Drake, S.: *Galileo at Work. His Scientific Biography*, New York 1978.
- Gaukroger, S.: *Descartes. An Intellectual Biography*, Oxford 1995.
- Merchant, C.: *The Death of Nature: Women, Ecology, and the Scientific Revolution*, New York 1989.

- Merton, R.K.: *Science, Technology, and Society in Seventeenth-Century England*, Brügge 1938.
- Shapin, S.: *The Scientific Revolution*, Chicago 1996.
- Shapin, S.: *A Social History of Truth: Civility and Science in Seventeenth-Century England*, Chicago 1994.
- Shapin, S. og S. Schaffer: *Leviathan and the Air Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*, Princeton, NJ 1985.
- Toulmin, S.: *Kosmopolis: Hur det humanistiska arvet förstördes*, Stockholm 1995 (eng. org. 1990).
- Westfall, S.R.: *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*, Cambridge 1983.
- Yates, F.: *Giordano Bruno and the Hermetic Tradition*, London 1964.

## Kapitel 4

- Boëtius, H. et al.: *Lyset, mørket og farverne. Goethes Farvelære – indblik og perspektivering*, København 1998.
- Gay, P.: *The Enlightenment. The Science of Freedom*, New York 1969.
- Knight, D.M.: *The Age of Science. The Scientific World-View in the Nineteenth Century*, Oxford 1986.
- Porter, R.: *Enlightenment: Britain and the Creation of the Modern World*, London 2000.
- Porter, R.: *Flesh in the Age of Reason. How the Enlightenment transformed the Way we see Our Bodies and Souls*, London 2003.

## Kapitel 5

- Bowler, P.J.: *Charles Darwin. The Man and his Influence*, Cambridge 1996.
- Browne, J.: *Darwin's Origin of Species. A Biography*, London 2006.
- Desmond, A. og J. Moore: *Darwin*, London 1991.
- Eriksen, Th.H.: *Charles Darwin*, Oslo 1997.
- Geison, G.L.: *The Private Science of Louis Pasteur*, Princeton, NJ 1995.
- Kenny, A.: Frege: *An Introduction to the Founder of Modern Analytic Philosophy*, Oxford 2000.
- Larson, E.: *Evolution. The Remarkable History of a Scientific Theory*, New York 2004.
- Latour, B.: *The Pasteurization of France*, Cambridge, MA 1988.
- Ruse, M.: *The Darwinian Revolution: Science Red in Tooth and Claw*, Chicago 1999.
- Sulloway, F.: *Freud: Biologist of the Mind*, London 1992.

## Kapitel 6

- Bohr, N.: *Naturbeskrivelse og menneskelig erkendelse*, København 1985.
- Cushing, J.T.: *Quantum Mechanics: Historical Contingency versus the Copenhagen Hegemony*, Chicago 1994.
- d'Espagnat, B.: *Veiled Reality*, New York 1995.
- van Fraassen, B.: *Quantum Mechanics: An Empiricist View*, Oxford 1991.

- Galison, P.: *Einstein's Clocks, Poincare's Map: Empires of Time*, London 2003.
- Greene, B.: *The Elegant Universe: Superstrings, hidden dimensions, and the quest for the ultimate theory*, New York 1999.
- Kragh, H.: *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*, Princeton, NJ 1999.
- Murdoch, D.: *Niels Bohr's Philosophy of Physics*, Cambridge 1987.
- Nørretranders, T.: *Det udelelige. Niels Bohrs aktualitet i fysik, mystik og politik*, København 1985.
- Pais, A.: *Niels Bohr's Times: In Physics, Philosophy, and Polity*, Oxford 1991 (da. udg. 1982).
- Pais, A.: *Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford 1982.
- Redhead, M.: *From Physics to Metaphysics*, Cambridge 1995.
- Redhead, M.: *Incompleteness, Nonlocality, and Realism*, Oxford 1989.
- Whitaker, A.: *Einstein, Bohr, and the Quantum Dilemma*, Cambridge 1996.
- Dawson, Jr. og John W.: *Logical Dilemmas: The Life and Work of Kurt Gödel*, Wellesley, MA 1997.
- Herken, R. (ed.): *The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey*, Oxford 1988.
- Hodges, A.: *Alan Turing: The Enigma*, New York 1983.
- Jaynes, E.T.: *Probability Theory: The Logic of Science*, Cambridge 2003.
- Kauffman, S.: *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-organization and Complexity*, Oxford 1995.
- Mandelbrot, B.B.: *The Fractal Geometry of Nature*, New York 1983.
- Penrose, R.: *The Emperor's New Mind*, Oxford 1989.
- Smullyan, R.: *Forever Undecided*, Oxford 1987.
- Wang, H.: *From Mathematics to Philosophy*, London 1973.
- Wang, H.: *A Logical Journey: From Gödel to Philosophy*, Cambridge, MA 1996.
- Wolfram, S.: *A New Kind of Science*, Champaign, IL 2002.

## Kapitel 7

- von Baeyer, H.C.: *Information: The New Language of Science*, Cambridge, MA 2003.
- Chaitin, Gregory J.: *Conversations with a Mathematician. Math, Art, Science, and the Limits of Reason*, London 2002.
- Davis, M.: *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*, New York 2000.

## Kapitel 8

- Coffa, J.F.: *The Semantic Tradition from Kant to Carnap: To the Vienna Station*, Cambridge 1993.
- Fuller, S.: *Philosophy of Science and its Discontents*, Colorado 1989.
- Fuller, S.: *Kuhn vs Popper*, Cambridge 2003.

- Gillies, D.: *Philosophy of Science in the Twentieth Century: Four Central Themes*, Cambridge 1993.
- Golinski, J.: *Making Natural Knowledge: Constructivism and the History of Science*, Cambridge 1998.
- Kitcher, P.: *The Advancement of Science*, Oxford 1993.
- Kuhn, T.S.: *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago 1962/1970.
- Latour, B. og S. Woolgar: *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, Los Angeles 1979.
- Latour, B.: *Science in Action*, Cambridge, MA 1988.
- Longino, H.: *Science as Social Knowledge*, Princeton, NJ 1990.
- Porter, Th.M.: *Trust in Numbers: The Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*, Princeton, NJ 1995.
- Reichenbach, H.: *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley, CA 1959.
- Zammito, J.H.: *A Nice Derangement of Epistemes. Post-Positivism in the Study of Science from Quine to Latour*, Chicago 2004.
- Depew, D.J. og B.H. Weber: *Darwinism Evolving. Systems Dynamics and the Genealogy of Natural Selection*, Cambridge, MA 1996.
- Diamond, J.: *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*, New York 2005.
- Gould, S.J.: *The Structure of Evolutionary Theory*, Cambridge, MA 1998.
- Keller, E.F.: *The Century of the Gene*, Cambridge, MA 2000.
- Nowak, M.A.: *Evolutionary Dynamics*, Cambridge, MA 2006.
- Raup, D.M.: *Extinction: Bad Genes or Bad Luck?*, New York 1992.
- Smith, J.M. og E. Szathmáry: *The Origins of Life*, Oxford 1999.

## Kapitel 9

- Blackmore, S.: *The Meme Machine*, Oxford 1999.
- Cosmides, L. et al. (eds.): *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, Oxford 1995.
- Dennett, D.C.: *Darwin's Dangerous Idea*, New York 1995.

## Kapitel 10

- Ball, P.: *Critical Mass*, London 2004.
- Christiansen, M.H. og S. Kirby. (eds.): *Language Evolution*, Oxford, 2003.
- Kitcher, P.: *In Mendel's Mirror: Philosophical Reflections on Biology*, Oxford 2003.
- Kringelbach, M.L.: *Hjernerum. Den følelsesfulde hjerne*, København 2004.
- Pielke, Jr., R.A.: *The Honest Broker: Making Sense of Science in Policy and Politics*, Cambridge 2007.
- Pimm, S.L.: *The Balance of Nature*, Chicago, 1991.
- Söderqvist, T.: *Hvilken Kamp for at undslippe. En biografi om immunologen og nobelpristageren Niels Kaj Jerne*, København 1998.

## Generelle værker

- Appleyard, B.: *Understanding the Present: An Alternative History of Science*, London 1992/2004.
- Bowler, P.J. og I.R. Morus: *Making Modern Science: A Historical Survey*, Chicago 2005.
- Cassirer, E.: *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der Neueren Zeit*, 1922 (3. udg.), Darmstadt 1994 (ny udg.)
- Chalmers, A.F.: *What Is This Thing Called Science?*, Indianapolis, IN 1999 (3. udg.)
- Collins, H. og T. Pinch: *The Golem: What Everyone should know about Science*, Cambridge 1993.
- Crombie, A.C.: *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition*, vol. 1-3, London 1994.
- Gaukroger, S.: *The Emergence of a Scientific Culture: Science and the Shaping of Modernity 1210-1685*, Oxford 2006.
- Gillespie, C.C. et al. (eds.): *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 1-16, New York 1970-80 (ny udg. 2007).
- Gribbin, J.: *Science. A History 1543-2001*, London 2002.
- Heilbron, J.L. et al. (eds.): *Oxford Companion to the History of Modern Science*, Oxford 2003.
- Jensen, H.S. et al. (eds.): *Tankens Magt – Vestens idebistorie*, vol. 1-3, København 2006.
- Katz: V.J.: *A History of Mathematics*, New York 1993.

- Kehlmann, D.: *Opmålingen af verden*, København 2006.
- Kragh, H.: *Naturerkendelse og videnskabsteori. De uorganiske videnskabers filosofi og historie*, Århus 2004.
- Liedman, S.-E.: *I skuggan av framtiden: Modernitetens idéhistoria*, Stockholm 1997.
- North, J.: *Fontana History of Astronomy and Cosmology*, London 1994.
- Olby, R.C. et al. (eds.): *Companion to the History of Modern Science*, London 1996.
- Pedersen, O. og H. Kragh: *Fra Kaos til Kosmos. Verdensbilledets historie gennem 3000 år*, København 2000.
- Penrose, R.: *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*, London 2005.
- Porter, R.: *Medicinens historie fra oldtid til nutid*, København 2000.
- Schäfer, L. og E. Ströker (eds.): *Naturauffassungen in Philosophie, Wissenschaft und Technik*, vol. 1-4, Freiburg/München 1993.
- Serres, M. (ed.): *A History of Scientific Thought*, Oxford 1995.
- Silver, B.L.: *The Ascent of Science*, Oxford 1998.
- Sörlin, S.: *Världens ordning*, Stockholm 2004.
- Swetz, F.J. (ed.): *From Five Fingers to Infinity: A Journey through the History of Mathematics*, Peru, Ill. 1994.
- Watson, P.: *Ideas: A History from Fire to Freud*, London 2005.

## Web-pediaer og Web-portaler

*Britannica Online Encyclopedia:*

[www.britannica.com](http://www.britannica.com)

*The History and Philosophy of Science, Technology, and Medicine* (universitetet i Firenze):

[imss.fi.it/~tsettle/index.html](http://imss.fi.it/~tsettle/index.html)

*Internet History of Science Sourcebook* (Fordham University):

[www.fordham.edu/halsall/science/sciencesbook.html](http://www.fordham.edu/halsall/science/sciencesbook.html)

*Internet Resources for History of Science, and Technology* (University of Delaware):

[www2.lib.udel.edu/subj/hsci/internet.htm](http://www2.lib.udel.edu/subj/hsci/internet.htm)

*Wikipedia:*

[wikipedia.org](http://wikipedia.org)

*Stanford Encyclopedia of Philosophy:*

[plato.stanford.edu](http://plato.stanford.edu)

# Indeks

## A

- abacus 68  
aboriginal 361  
Abraham Ortelius af Antwerpen 94  
Abu Hasan Al-Uqlidisi 69  
acceleration  
    definition af 117  
    hos Einstein 231  
    hos Galilei 100  
    hos Newton 105  
    måling af 100  
    Månens 105  
*Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture, The* (Cosmides og Tooby) 377  
adfærdsforskning 377  
afasi 207  
*Afhandling om den menneskelige natur* (Hume) 135  
AI · Se kunstig intelligens  
akademisk frihed 148  
akkordløn 307  
aksiom  
    definition af 35, 39  
    hos Euklid 39  
    hos Gödel 268  
    hos Platon 33  
    parallel- 162  
    som algoritme 272  
aktieselskaber 304  
akvavit 72  
AL · Se kunstigt liv  
*Al-Jabr wa-al-Muqabilah* (al-Khwarizmi) 68  
al-Khwarizmi, Muhammed ibn-Musa 68f  
Alberti, Leon Battista 81, 85  
d'Alembert, Jean le Rond 125  
Alexandria 38f, 44, 50f, 55  
Alfa Centauri 274, 281  
alger 384  
algoritme  
    effektiv 272  
    fraktal 290  
    genetisk 404  
    ordets oprindelse 69  
    rekursiv 291  
    sortering 282  
Alhazen (Ibn al-Haitham) 63  
alkohol  
    alkoholisme-gen 362  
    hos Pasteur 194  
    i alkymien 72  
    produktion af 72  
alkymi 71f, 82  
allele 345  
*Almagest* (Ptolemaios) 38, 44  
alternativomkostninger 153  
aminosyre 368  
Ampère, André-Marie 166  
amputation 58  
amøbe 404  
analytiske maskine, den 157  
anasazi-stammen 385  
anatomii 192, 346  
    anatomisk atlas 77  
    hos Harvey 111

- hos Vesalius 93  
 i antikken 24  
 i renæssancen 77, 89  
 Anaxagoras 31  
 Anaximander 24, 256  
 Anaximenes 24, 256  
 ancien régime 140  
 Anden Verdenskrig 252, 260, 275, 309,  
     312, 318, 321f, 327ff, 347f  
 Andersen, Hans Christian 218f  
 Andromeda-galaksen 239f  
 Angkor Wat 385  
 antigen 392f  
 Antikythera-maskine 51  
 antistof 392f, 397  
 antropocentrisme 352  
 Appollonius 45  
 apriori  
     hos Kant 160, 209  
     syntetisk 265f  
 aqua vitae 72  
 arabertal · *Se* tal  
 arbejde og varme 175  
 arbejderklasse 151  
 arbejdsdeling 152, 154ff, 303, 306f  
     af tanken 156  
     hos celler 373  
     i trykkerier 152  
 arbejdsløshed 308  
 ariske race, den 346, 348  
 Aristoteles 33-42, 47, 49f, 55, 62, 71,  
     74, 77f, 80f, 88f, 97f, 111, 122, 264f,  
     295, 353  
     fire årsager · *Se* fire årsager  
     kosmologi 37, 44, 91  
     logik 23  
     teori for bevægelse 100  
     *tertium non datur*  
         · *Se* *tertium non datur*  
 aristotelisme 78, 80, 90  
 aritmetik 61, 99, 117, 137, 212, 219  
     hos Descartes 98  
     hos Kant 163  
 Arkimedes 38, 42, 46, 51  
 arkitektur 301  
     arabisk 56  
     Bauhaus 317  
     romersk 50  
 ARPANET 407  
*Ars Conjectandi* (Bernoulli) 122  
 arter  
     oprindelse 185, 187, 259  
     uddøen 141  
     udvikling af 141, 184, 188  
 arterie 111  
*Arternes Oprindelse* (Darwin) 190, 343  
 Artyzbasheff, Boris 301  
 arvelighed 166, 168  
 arvemasse · *Se* genom  
 Asner, Edward 413  
 Aspect, Alain 279  
 aspirin 197  
 assyrer 386  
 astrolabium 64  
 astrologi 47, 71, 82  
     hos Ptolemaios 46  
     i renæssancen 82  
 astronomi 61, 72, 132, 331  
     i antikken 23, 38, 46  
     i Babylonien 20  
     i middelalderen 82  
 Atanasoff, John Vincent 270  
 atlas 94, 96  
*Atlas Coelestis seu Harmonica*  
*Macrocosmica* (Cellarius) 79, 91f  
 atom 109, 256  
     dualitet 279  
     eksperimentel påvisning 225  
     hos Bohr 243ff  
     i antikken 30

- kemisk teori 139, 175  
kerne 244, 251  
kræfter 253  
orbitaler 244  
sammensat 242  
vægt 175, 234  
atombombe 233, 251ff, 322f, 328  
atomister 30f, 37, 109  
atomprøvesprængning 253  
atomreaktor 251  
*Australopithecus africanus* 360  
autoimmunitet 394  
autokatalyse 370  
automat  
    cellulær 291  
    fra Alexandria 51  
automation 312  
autopoiesis 369  
Averroes (Ibn Rushd) 59, 80  
Avicenna (Ibn Sina) 55, 59  
Avogadro, Amedeo 234  
Avogadros tal 233  
Axelrod, Robert 375f  
axon 395
- B**
- Babbage, Charles 155ff, 159, 307  
Babylonien 20, 29, 373  
Bacon, Francis 96, 122  
Bacon, Kevin 413  
Bacon, Roger 63  
Bacon-nummer 413  
baggrundsstråling 240  
Bak, Per 388  
bakterie  
    hos Pasteur 193  
    i symbiose 372  
bananflue 362, 381  
baquet 200  
barometer 99  
batteri 140, 181  
Bauhaus 316f  
Bayes, Thomas 297f  
Bayezid II 80  
bayesiansk sandsynlighed  
    · *Se* sandsynlighed  
Beagle 184  
Becquerel, Henri 225  
bedøvelse 191, 195  
Beer, Stafford 315, 402  
befolkningstilvækst 152, 387  
Bell, Alexander Graham 409  
Bell, John 254  
Belousov, Boris P. 370  
Bentham, Jeremy 161  
beregning, fysiske grænser for 282  
Bergson, Henri 351  
Berkeley, George 145  
Bernard, Claude 166  
Bernheim, Hippolyte 203  
Bernoulli, Jakob 122  
Bernoulli-tal 157  
Bethe, Hans 239  
bevis  
    hos Euklid 41  
    hos Gödel 269  
    indirekte 29  
bevægelse 122  
    ifølge Galilei 97  
    matematisk beskrivelse af 117  
    teori om 100, 104  
    årsag 109  
bevægelsesargumentet 66  
*Bibelen* 72, 74, 82, 87, 141, 185,  
    190, 223  
biblioteket i Alexandria 38f, 55  
Bichat, Marie François 140  
bifurkation 289  
Big Bang 240, 242, 284  
Big Crunch 241

- Big Rip 241  
big science 328f  
bil 308  
billedforbud  
    hos Bohr 249  
    i islam 56  
biologi 351  
    hos Kant 137  
reduktion til kemi og fysik 166, 168  
som grundvidenskab 169  
    som mekanik 111  
    som statistisk videnskab 167  
bioteknologi  
    hos Pasteur 193  
    som big science 329  
BitTorrent 411  
bivalens 295  
Blake, William 147  
Bletchley Park 275f  
Bloch-sfære 281  
blod 110f  
blog 409, 411  
bogtrykkerkunst 56, 58, 74, 78  
Bohm, David 254  
Bohr, Niels 243ff, 248f, 251, 253f, 256f,  
    278, 280, 294, 299, 317, 333  
Bolk, Louis 346f  
Bologna-skolen 60  
Boltzmann, Ludwig 179, 233,  
    276ff, 299  
borgerskab 151  
Born, Max 247, 249  
de Boulogne, Valentin 121  
Boyle, Robert 97, 106, 109, 113, 335  
Brahe, Tycho 72, 90, 93, 96, 99  
    kosmologi 91  
Braid, James 200  
Bray, William C. 369  
Bremermann, Hans-Joachim 285  
Bremermanns grænse 285  
Breuer, Josef 207  
briller 58, 63, 102  
Brinton, Daniel Garrison 345  
Briquet, Paul 203  
de Broglie, Louis 244f, 247  
Brouillet, André 203  
Brouwer, Luitzen Egbertus Jan  
    264f, 267, 270, 337  
Brown, Louise 349  
Brown, Robert 233  
brownske bevægelser 164, 178, 233  
Brunelleschi, Filippo 77, 85f  
Bruno, Giordano 96  
brydningslov 65, 101  
Buffon, Georges 140, 343  
Burali-Forti, Cesare 264  
Burnet, Macfarlane 393f  
Bush, Vannevar 328  
Byron, George Gordon  
    (Lord Byron) 157  
bærebølge 410  
bæredygtighed 385  
bølgefunktion, kollaps af 250  
børnearbejde 151  
børskrak  
    som selvorganiseret kritisk system 387
- ## C
- cahokia-stammen 385  
Cairns-Smith, Graham 366  
caloric 141, 151  
camera obscura 322  
Cantor, George 214f, 261ff, 272  
Cardano, Geronimo 83, 121  
Carnot, Sadi 158ff, 174, 176f  
Carol, Andrew 159  
Carson, Rachel 354  
cartesiansk koordinatsystem 99, 118  
Cartwright, Nancy 339  
Cassirer, Ernst 323, 326

- Cauchy, Augustin Louis 212f  
Cauchy-sekvens 213  
*Ceci n'est pas une pipe* (Magritte) 268  
Cellarius, Andreas 79, 91f  
celler  
    eukaryotiske 372  
    krops- 344  
    køns- 344  
    nerve- · Se neuron  
    teori om 140, 166, 193  
cellulær automat 291, 293, 388  
centralperspektiv 77, 83, 85f  
centrifugalkraft 126  
cepheider 240  
CERN 407  
Chadwick, James 251  
Chaitin, Gregory 273, 289  
Chamberlain, Houston Stewart 346  
Chamberlain, Neville 259  
Chandrasekhar, Subrahmanyan 239  
*Change of Habit* (Graham) 413  
Changeux, Jean-Pierre 397  
Chaplin, Charlie 308  
Charcot, Jean Martin 203, 207  
Chargaff, Erwin 351  
du Châtelet, Émilie 125  
chimpanse 360  
chip 405f  
Chomsky, Noam 390, 392  
Cicero, Marcus Tullius 78  
ciliat 404  
Clausius, Rudolf 177f, 225, 260  
Clements, Frederic 353  
cogito, ergo sum 398  
Cohen, Paul Joseph 272  
Collins, Harry 334  
Colt, Samuel 305f  
Columbus, Christoffer 46, 59, 77  
comparative advantage 153  
Compton, Arthur 245, 247  
computer  
    af bakterier 406  
    beregningens grænser 273  
    bygning af første 270  
    elektrokemisk 403  
    første program 157  
    grafik 211  
    hos Babbage 156f  
    kvante- 278, 281  
    opfindelsen af 322  
    program 273  
    regnekraft 286  
    simulationer 369  
    skak 405  
    som regnende menneske 240  
    spil 404, 409  
    teoretisk grundlag 262, 270  
    Turings 271  
    udvikling af 405  
Comte, Auguste 302  
Conant, James Bryant 328  
Conway, John Horton 290f  
Cook, James 128  
Cook, Stephen 283  
cookske problemer 283  
Cosmides, Leda 377  
Cox, Richard T. 298  
Crick, Francis 351  
Cro-Magnon 361  
Crystal Palace 151  
Cullen, William 201  
Cuvier, Georges 141, 186f  
cyborg 405  
cytoplasma 404

## D

- Dalton, John 139f  
dambrug 416  
dampmaskine 142, 150f, 159, 168, 174, 303  
dampsbib 141f, 303

- 296  
Darwin, Charles Robert 184f,  
187-191, 223, 259, 333, 343ff,  
349-352, 359, 372, 377  
darwinisme 344, 352, 372  
datalogi 416  
Dawkins, Richard 359  
DDT 354f  
debit 84  
Dedekind, Richard 213ff, 261  
Dedekind-snit 214  
deduktion  
    definition af 170f  
    hos Aristoteles 34f  
    hos Euklid 41  
    hos Kant 321  
    hos Popper 330  
*De humanis corporis fabrica*  
    (Vesalius) 93  
Delamotte, Philip Henry 151  
de Lavoisier, Antoine Laurent  
    129f, 134, 138, 141, 157, 174  
demokrati 301, 312, 315, 327, 417  
Demokrit 30, 32f, 256  
*De multiplicatione specierum* (Bacon) 63  
dendrit 395, 403  
*Den europæiske videnskabs krise*  
    og den transcendentalte fænomenologi  
    (Husserl) 326  
*Den medicinske kanon* (Avicenna) 55  
Dennett, Daniel 396  
*De Revolutionibus Orbium Coelestium*  
    (Kopernikus) 92  
Descartes, René 65, 77, 90, 98f, 101f,  
104, 106, 109, 111f, 114f, 126, 130,  
135ff, 160, 216, 318, 394, 398  
Descartes' lov 102  
designargument 66, 369, 372  
desinfektion 197  
destillation 72  
determinisme  
    i middelalderen 80  
    i sjælelivet 260  
    kontra forudsigelighed 285, 288  
    og sandsynligheder 121  
    som forudsigelighed 120, 130  
    under oplysningsstiden 129  
deterministisk kaos 288  
diagonalbevis 262  
dialektik 61  
*Dialogerne om de to verdenssystemer*  
    (Galilei) 98  
Diamond, Jared 385  
diastol 111  
Diderot, Denis 125  
*Difference Engine, The* (Sterling og  
William) 159  
differensligninger, diskrete 388  
differensmaskine 157, 159  
differentialligning 130, 350, 388  
    koblede 287  
    hos Newton og Lebniz 117  
diffraktion 128, 250  
diffusion 343, 370  
difteri 196  
digitalisering 409  
dinosaur 384  
Diogenes 24  
Dirac, Paul 251  
disciplin  
    etablering af 173  
    formel 261  
    hjælpe- 29  
    i læreplaner 61  
    sammensmelting af 416  
dissipative strukturer 370, 372  
DNA 344, 351, 362f, 368, 406  
    chimpanzens 360  
    menneskets 360  
dobbeltblind test 339*

- dobbelt bogholderi 83f  
 dobbeltpalteeksperiment 247, 250  
 dodekaeder 33  
 dopamin 395  
 dotcom-boblen 411  
 Doyle, Conan 170  
*Drawing Hands* (Escher) 259  
 drejebænk 142, 304  
 Driesch, Hans 351  
 drivhuseffekt 289, 387  
 drivhusgas 418f  
 dræning 57  
*Drømmetydning* (Freud) 208  
 dualisme 116, 326, 355
  - cartesiansk 120, 396
  - hos atomisterne 31
  - i immunsystemet 394
  - i renæssancen 110
  - som nyt fænomen 113
 Duhem, Pierre 334  
 Duhem-Quine-tesen 334  
 Dunbar, Robin 390  
 Duns Scotus, Johannes 77  
 Durkheim, Emile 326  
 dynamit 370  
 dynamo 181, 183  
*Dyrekredsmanden* (Reisch) 82  
 Dürer, Albrecht 88  
 dysenteri 55  
 dystopi 313  
 dårekiste 200f
- E**
- Earth and Planetary Science 416  
 eau de vie 72  
 École Polytechnique 140  
*Ecology of Plants, The* (Warming) 353  
 Eddington, Arthur 239  
 Edelman, Gerald 397  
 eDonkey 411
- effektivitet  
 hos Taylor 310  
 som ideal 315  
 teori om 160  
 efterårsjævndøgn 44  
 von Ehrenfels, Christian 206  
 Einstein, Albert 178, 183, 229,  
 231-241, 244, 251, 253ff, 257,  
 261, 266, 278f, 284, 294, 299,  
 317, 321, 323, 331, 333  
 ekliptika 44  
 eksperiment 132, 170
  - hos Galen 49
  - i middelalderen 63
  - kemisk 129
  - smukt 252
  - som metode 98, 101
  - som vejen til erkendelse 112
  - som videnskabelig metode 131
  - under den videnskabelige revolution 89
 ekspertsystem 405  
 eksternaliteter 375  
 élan vital 351  
 eleaterne 25  
 Elefantorden 248  
 elektricitet 129, 140, 146, 164ff, 181,  
 301, 303  
 elektrodynamik 229  
 elektrolyt 181  
 elektromagnetiske spektrum, det 227  
 elektromotor 165  
 elektron 242f, 245, 247, 249, 256  
*Elémens de la philosophie de Newton*  
 (Voltaire) 125  
 elementarpartikel 253 · Se også atom  
*Elementerne* (Euklid) 23, 33, 38ff, 42f  
 Eliasson, Olafur 416f  
 Eliot, Thomas Stearns 260  
 ellipse 103, 105  
 email 407ff, 411

- embryo 345f  
 emergens 369, 372, 398, 402  
 Empedokles 31  
 empirisme  
     hos Locke 113, 125, 127  
     i antikken 23  
     i renæssancen 83  
     radikal 169  
*Encyklopædi, Den Store Franske*  
     89, 125, 150, 155  
 Endlösung, die 347  
 endorfin 395  
 energi 134, 174  
     dens konstans 178  
     elektromagnetisk 226  
     felt 166  
     i kvanter 226, 245  
     og masse 232  
     som egenskab 176  
 enhedsbrøk · *Se tal*  
 enhedsteori 257  
 Enigmakode 275  
 entanglement 279f  
 entropi 177f, 260  
     blanding 277  
     hos Boltzmann 179, 276  
     hos Kolmogorov 289  
     hos Shannon 275f, 289, 299  
     maksimal 299  
     som manglende viden 278  
     som uorden 179, 369  
 Entscheidungsproblem 267, 272  
 epicykler 45  
 epidemi 192, 372  
 epigenetisk  
     faktorer 362  
     instruktion 357  
 epistemologi  
     hos Bohr 249, 278, 294  
     hos Boltzmann 278  
     kontra ontologi 280, 299, 317  
     social 338  
     større indflydelse 294  
 EPR-eksperiment 279  
 Erasmus fra Rotterdam 74, 82  
 Eratosthenes 38  
 Erdős, Paul 413  
 erkendelse  
     a priori 161  
     betingelser for 161  
     grænser for 248  
     hos Hume 135  
     hos Kant 161  
     via sproget 113  
 Erkenntnis 325  
 Ernst Mach Gesellschaft 318  
 erosion 140, 388  
*Essay om principper for populationer*  
     (Malthus) 189  
 essens 65, 113  
     hos Aristoteles 37  
 Eudoxos 42ff  
     kosmologi 44  
 eugenik 171, 259, 339, 344, 347ff  
 Euklid 23, 33, 38-41, 46f, 55, 78, 98,  
     106, 161f  
 euklidisk metode 105  
 evighedsmaskine 177, 260  
 evolution 184, 343f, 369, 372  
     første stamtræ 187  
     hos Darwin 184  
     hos Lamarck 185  
     ny modus 364  
 exhaustions-metoden 43
- F**
- F.L. Smidt 295  
 fagforening 309  
*Fagre nye verden* (Huxley) 313  
*Faidon* (Platon) 34

- falsifikation 324, 330, 334  
 Falske, Det 217  
*Falskspillerne* (de Boulogne) 121  
 fangedilemmaet 376  
 Faraday, Michael 166, 181f  
 farve  
     hos Goethe 143ff  
     hos Newton 106  
     som kemiiske stoffer 164  
 faserum 288  
 fattigdom 151  
 Fechner, Gustav 204  
 feed-forward 404  
 feedback 312, 364, 402ff  
 fejlkatastrofe 389  
 fejlslutning  
     naturalistisk 344  
     reduktionistisk 379  
 felt  
     elektrisk 229  
     magnetisk 166  
     teorier for 181f  
 femte element · *Se* æter  
 de Fermat, Pierre 120f  
 Fermi, Enrico 252  
 fertilitetsbehandling 349  
 Feynman, Richard 281  
 Fibonacci (Leonardo fra Pisa) 69f  
 Fichte, Johann Gottlieb 146, 149f  
 Ficino, Marsilio 81  
 finale årsager 344  
 fin de siècle 260  
 finker 190  
 fire elementer 31, 33, 36, 48f  
 fire årsager 35, 62ff, 66, 72  
 Fisher, Ronald 299, 338-341, 350  
 fission 251  
 fitness 350, 388  
     inklusiv 375  
 Fleisch, Thorsten 211  
 fluxion 118  
 FM 410  
 FN 387  
 Follett, Mary Parker 311  
 forbrænding 132  
 forbrændingsmotor 178  
 Ford, Henry 308ff, 313  
 formalisme 267  
 fornuft 112, 314, 394  
     hos Heraklit 24  
     hos Kant 137  
     i middelalderen 65  
     naturligt selekteret 191  
     og kendsgerninger 98  
     rationel 146  
     utilstrækkeligheden af 112  
 forudsigelighed 130, 382  
     hos Voltaire 127  
     kontra determinisme 285  
 forurening 313  
 forårsjævndøgn 44  
 fossil 141, 359, 361, 367, 385  
 fosterscanning 349  
 fotoelektrisk effekt 234  
 fotografi 151  
 foton 234, 246, 250  
 fraktal 211, 287, 289f, 295  
 Franklin, Benjamin 139, 180  
 Franklin, Rosalind Elsie 351  
 Franske Revolution, Den 89, 129,  
     139, 148  
 Frege, Gottlob 164, 215-220, 263,  
     294, 319  
     som platonist 217  
 fremskridt 161, 170, 199  
 frenologi 260, 347  
 Freud, Sigmund 207f, 260  
 frie kunster 61  
 frihandel 153f  
 frihed 148

- Frisch, Otto 252  
frit fald 99f  
FTP 411  
Fuller, Steve 338  
Fulton, Robert 141  
funktionalisme 301  
fusion 239  
fuzzy logic 295, 405  
fysik 131, 166  
    etablering af 129  
    hos Aristoteles 35  
    hos Kant 137  
    tre teoridannelser 225  
    udvikling af 129  
fysiokrater, franske 152  
fysiologi 166, 192, 205  
fænomenologi 326  
fødekæde 381  
Første Verdenskrig 320ff, 328
- G**
- Gaia 354  
galakser 242  
Galen 48ff, 55, 60, 93, 111, 202  
Galilei, Galileo 97-103, 112, 123, 129,  
    160, 275, 299  
Galois, Évariste 209  
Galton, Francis 168, 259, 339  
da Gama, Vasco 333  
Game of Life 290f  
Gassendi, Pierre 109  
Gauss, Johann 166  
gearsystem 51  
geigertæller 227  
gener 344, 350f, 357, 362, 371, 377, 381  
*Genetical Theory of Natural Selection, The* (Fisher) 350  
genetik 350  
genetisk assimilation 356  
genetisk drift 350  
genier 147  
gennemsnit 388  
genom 358, 362f  
genterapi 349, 362, 364  
geocentrisk verdensbillede  
    · *Se Ptolemaios*  
geodætisk vej 237  
*Geographia* (Ptolemaios) 17, 46  
geologi 141, 185, 415  
geometri 61, 209  
    analytisk 98f, 109  
    elliptisk 163  
    euklidisk 41, 161, 163, 237, 321  
    fraktal 290  
    hos Kant 137f  
    hos Pythagoras 26  
    hos Thales 22  
    hyperbolsk 163  
    i antikken 33, 39  
    i Arabien 56  
    ikke-euklidisk 162, 266, 321  
    projektiv 46  
*Gestalt* (Fleisch) 211  
Gestalt-psykologi · *Se* psykologi  
Gibbs, Josiah Willard 179  
Gibson, William 159  
Gilbert, William 103, 108f  
Gilbreth, Frank 307  
Gillray, James 195  
girih-tegl 56  
gnomon 27  
von Goethe, Johann Wolfgang  
    143-146  
Gogarten, Peter 358  
gogol 285  
Gombaud, Antoine 120  
Goodall, Jane 401  
*Gorgias* (Platon) 34  
gotikken 77  
gotisk katedral 57

- Gould, John 190  
de Goya, Francisco 201  
gps 411  
grammatik  
    i immunsystemet 392  
    i middelalderen 65  
    oprindelsen af 389f  
    som fag 61  
grandes écoles 149  
*Great Instauration* (Bacon) 96  
Griesinger, Wilhelm 201  
Grosseteste, Robert 63  
grundlagskrisen 261, 264  
grundstoffer 129, 139, 165, 175, 251  
    første teori om 31  
    kemiske 139  
grundtal 67  
grundtone 27  
grundvidenskaber 169  
gruppeteori 209  
grænsecykel 291  
grænseværdi · *Se* tal  
grønne moske, den 56  
Guare, John 413  
Gud  
    hos Descartes 114  
    hos Newton 130  
    og videnskaben 114  
    spiller ikke terninger 279, 294  
gudsbevis  
    hos Aquinas 66  
    hos Descartes 116  
    hos Pascal 120  
    ud fra mængdelæren 262  
guld 71  
Gutenberg, Johann 72, 74  
Guth, Alan H. 240  
gyldne snit, det 43, 69  
gællespalter 346  
gæring 168, 193f
- Gödel, Kurt 261, 268, 270, 272f, 282, 291, 299  
Gödels sætning 268, 272, 292  
gødning 57

## H

- Habermas, Jürgen 332  
Haeckel, Ernst 170, 345f, 352f, 359  
Hahn, Otto 251  
HAL 402  
Haldane, John Burdon Sanderson 350  
Halley, Edmond 128  
Halleys komet 128  
halvleder 405  
Hamilton, William Donald 375, 377  
Hamilton, William Rowan 211  
handel, komparativ fordel 153  
handelsrejsende 283, 285  
Harappan 385  
Hardin, Garrett 385  
Hardy, Godfrey Harold 350  
Harlekin 191  
harmoni 27, 352  
Harvey, William 110f  
hasardspil 119, 121  
hastighed, måling af 100  
havstrømme 287  
Hawthorne Works 311  
Hegel, Georg Wilhelm Friedrich 190  
Heidegger, Martin 323, 325  
Heisenberg, Werner 246-249, 253f, 279  
Heisenbergs usikkerhedsrelation 247, 250, 279, 285  
heksaeder 33  
heliocentrisk verdensbillede  
    · *Se* Kopernikus' kosmologi  
von Helmholtz, Hermann 182, 205  
Henricus de Alemania 60  
Heraklit 24, 29-32, 295f

- Herodot 32  
 Heron 38, 51f  
 Hertz, Heinrich 184, 225  
 Hesiod 21  
 Hilbert, David 263f, 267, 270, 272  
 Hildebrandt, Eduard 148  
 Hipparkos 38, 45, 105  
 Hippokrates 47  
 hippokratisk ed 48f  
 Hiroshima 253  
 historia 32  
 Hitler, Adolf 251, 322, 347  
 hiv 393  
 hjemmeside 407  
 hjerneforskning 395  
 hjernen 49f, 96, 115, 201, 207, 292,  
     358, 395f  
 hjertet 110f  
 Hobbes, Thomas 335, 373f  
 Holbach, Paul 130  
 Holmes, Sherlock 170, 196  
 Homer 21  
     kosmologi 21f  
 homininer 361  
 Homo erectus 359, 361  
 Homo ergaster 360  
 Homo faber 82  
 Homo habilis 359  
 Homo sapiens 359, 361  
 horisontal gen-overførsel 358  
 horoskop 81  
*Hortus deliciarum* (von Landsberg) 61  
 hospital 58, 197  
 House of Commons 221  
 Hoyle, Fred 240  
 Hubble, Edwin 239f  
 Hubble-flow 242  
 Hubble Space Telescope 225, 242  
 hukommelse 395, 397  
 Humane Genom Projekt, Det 362  
 humanist 78  
*Human Problems of an Industrial Civilization, The* (Mayo) 310  
 von Humboldt, Alexander 148, 352  
 von Humboldt, Wilhelm 149f, 318,  
     320, 329  
 Hume, David 134ff, 163, 321  
 hundegalskab 194  
 Husserl, Edmund 220, 323, 325f  
 Hutton, James 140, 185  
 Huxley, Aldous 313  
 Huygens, Christiaan 119, 140, 183  
 hvid dværg 239  
 hvirvelteori 126  
 hydrostatik 42  
 hygiejne 171, 191, 195, 198  
 Hypatia 55  
 hyperlink 407, 415  
 hypnose 199f, 202f, 207f  
 hypotese 331, 339  
 hysteri 202f  
 højdemåler 99  
 håndværkerlaug 58
- ## I
- IBM 278  
 Ibn al-Haitham (Alhazen) 63  
 Ibn Rushd (Averroes) 59, 80  
 Ibn Sina (Avicenna) 55, 59  
 idiotypisk netværksteori 393  
 ikke-lineære dynamiske systemer  
     · Se systemer  
 ikosaeder 33  
 ild 24  
*Illustratio iconographica insectorum ...*  
     (de Montbret) 173  
 immunologi 393, 416  
 immunsystem 363, 392  
 imperialisme 345  
 indeterminisme 248f, 254

induktion  
hos Mill 221, 319  
hos Popper 330  
med sandsynligheds-  
betragtninger 297  
som bevis 71, 171  
som elektromagnetisk fænomen 181  
som videnskabelig metode 170  
induktionsspole 229  
industrialisering 139, 152, 157, 303  
industrielle revolution, den 152, 174  
første og anden 301  
industrisamfund 302, 309  
infektion 196, 198  
inferrometer 228  
infinitesimalregning 43, 118f,  
129, 212  
inflationsmodel 240  
information 274, 293, 299  
aftagende lov 299  
algoritmisk teori 275, 289  
fysisk basis 278  
genetisk 351  
graden af tydelighed 275  
hos Shannon 278  
overlejring 280  
semantisk teori 274  
som produkt 411  
informationssamfundet 409  
ingeniørvidenskab 160, 169  
inka 386  
inkvisition 96  
integralregning 117  
integrerede strømkredse · *Se* chip  
Intel 405  
intelligent design 66, 352  
interferens 182, 228, 250  
internet 381, 388, 407f, 415  
Internet Service Providers 408  
intranet 407

*Introduktion til studiet af den eksperi-  
mentelle medicin* (Bernard) 166  
introspektion 205f  
intuition  
hos Brouwer 265  
hos Kant 138  
intuitionisme 264  
invariansprincip 231  
ioniske filosoffer 23f, 29, 37  
irrationale forhold mellem  
himmellegemer 71  
irrationale tal · *Se* tal  
irreducibilitet 286f  
irreversibilitet 178, 260, 291  
islamisk kultur 55  
ISOTYPE 324  
istid 289, 419

## J

Jacobsen, Jens Peter 190  
James, William 205  
Jaynes, Edwin T. 298  
Jean Buridan 78  
Jenner, Edward 195  
jern 72, 150  
jernbane 142, 303  
Jerne, Niels Kaj 392ff, 397  
Jevons, William Stanley 319  
*JFK* (Stone) 413  
jordemødre 192  
Jorden  
form af 126  
som magnet 108f  
jordskælv 289, 388  
selvorganiseret kritisk system 387  
Jumbo 252  
jumping genes 358  
Jupiter 97, 292  
jura 60

# K

- Kaiser Wilhelm-institutter 320  
kanalisering 356  
kanon 58, 142  
Kant, Immanuel 136ff, 145, 147,  
149, 161, 163f, 209, 220, 265ff,  
318, 321  
kopernikansk vending 220  
opgør med 161  
kaos 287f  
kaotisk attraktor 288, 291  
kapitalisme 156, 303  
kardinaltal 215, 264  
Karlsvognen 242  
kartografi 418f  
i renæssansen 79  
som naturbeskrivelse 80  
katastrofeteori 187  
kausalitet 136, 249  
Kazaa 411  
Lord Kelvin (William Thomson)  
182, 225f, 319  
kemi 72, 129, 131f, 138f, 164, 166,  
175, 197  
kendsgerninger 97f, 106, 334, 336, 418  
Kepler, Johannes 96f, 103f, 287  
  kosmologi 103  
  love 103f  
kernekræfter 253  
kikkert 97, 102  
  kirkens ulyst til at se igennem den 98  
  med spejl 105  
kilometertæller 52  
Kimura, Motoo 356, 361  
kin-selektion 375, 377  
kinematon 292  
kinesisk hviskeleg 299  
King, Mary-Claire 360  
Kipling, Rudyard 345  
kirkelig ret 60  
klassifikation 167  
af naturen 80  
af stjerner 238  
ud fra observation 47  
klimaforskning 416, 418  
*Klodernes Kamp* (Wells) 368  
kloning 363  
klonselektionsteori 393  
klostre 58, 71, 74, 78  
klystersprøjte 191  
Koch, Robert 194  
koglekirtlen 115  
Kolde Krig, Den 312  
kolera 196  
Kolmogorov, Andrey 289  
komet 90f  
kommunisme 301, 312, 327  
komparativ fordel 153  
kompleksitet 262  
  algoritmisk 289  
komplementaritet 144, 248f  
komplexioner 277  
konkret tælling 18  
konstruktivisme 270  
kontinuet 265, 272  
kontinuumshypotesen 262f, 272  
konvektionsstrømme 288  
koordinatsystem 98f  
kopernikansk vending · Se Kant  
Copernicus, Nikolaus 96, 102,  
  136, 239  
  kosmologi 77, 88, 91f, 102  
kopper 195  
korrespondensprincip 245, 249  
kortspil 119  
Kosko, Bart 295f  
kosmologiske konstant, den 241  
kosmologisk princip 242  
*Kosmos* (von Humboldt) 352  
Kraepelin, Emil 201

- kraft  
fundamental 253  
linjer 182  
teori for 100  
Krakauer, David 389f  
kraniologi 347  
kreationisme 351  
kredit 84  
kromosom 344  
kronotografi 307  
kryptering 275, 283  
Kubrick, Stanley 292, 402  
kugleramme · *Se* abacus  
Kuhn, Thomas 331-336, 338, 340  
kul 142, 150  
kulturpessimisme 260  
kulturteori 414  
kunstig intelligens 395, 402f  
kunstigt liv 402  
kvanteffekter 406  
kvantekorrelation 279  
kvantekryptering 281  
kvantemekanik 223, 244, 249, 253-256,  
    279f, 299  
    fortolkninger af 254  
kvanter · *Se* energi  
kvintessens · *Se* æter  
kybernetiske organismer 402  
kædereaktion 251f  
kætteri 98  
Københavnerfortolkningen 249f  
König, Julius 264  
Kåhre, Jan 299
- L**  
laboratorium 64, 333, 335  
*Laboratory Life – the construction of scientific facts* (Latour og Woolgar) 336  
Lagrange, Joseph Louis 126, 128f, 138  
Lamarck, Jean Baptiste 141, 185-188, 343  
lamarckisme 344, 356, 359  
Landauer, Rolf 278  
landbrug 58, 150, 311, 355  
landbrugsvidenskab 169  
von Landsberg, Herrad 61  
Laplace, Pierre Simon 126, 129f, 174  
*La Resurrezione di Tabita* (da Panicale) 86  
Latour, Bruno 336  
Laurentius de Voltolina 60  
lavine 387f  
Leakey, Louis Seymour Bazett 359  
Leaky, Mary 359  
Leavitt, Henrietta 239  
Le Corbusier (Charles-Édouard Jeanneret-Gris) 313f  
legemsvæsker 31, 48f, 204  
LEGO 158  
Leibniz, Gottfried Wilhelm 117f, 210,  
    212, 265  
    regnemaskine 210  
Lemaître, Georges 240  
Lemos, Miguel 302  
Lenin, Vladimir 301  
Leonardo fra Pisa · *Se* Fibonacci  
Leonardo da Vinci 77, 79f, 93  
Leopold, Aldo 354  
lerfigur 18f  
lerkrystal 366  
lertal · *Se* tal  
lertavle 17, 20  
Let's make a deal 298  
*Lettres philosophiques* (Voltaire) 127  
Leukippos 30  
levende kraft, den 175  
lever 111  
*Leviathan* (Hobbes) 335, 373f  
*Liber abbaci* (Fibonacci) 69  
*Liber de ludo aleae* (Cardano) 121  
Licklider, Joseph Carl Robnett 407

- Liébeault, Ambroise-Auguste 203  
Lindbergh, Charles 260  
lingvistik 391  
von Linné, Carl 140, 350  
Linse, Pat 358  
livet  
oprindelsen af 164, 167, 364-368  
som kemisk proces 166  
livets vand 72  
livsånd 49  
Locke, John 112, 114, 116, 125, 127,  
129, 134  
logicisme 216, 264f  
*Logic of Scientific Discovery, The*  
(Popper) 329  
logik 61, 261  
fuzzy 295f, 405  
hos Aristoteles 23, 34  
hos Euklid 41  
hos Kant 137  
i antikken 29  
i middelalderen 65f  
inkonsistens 220  
i sprog 216  
klassisk 294, 299  
matematisk 216  
operatorer 283  
probabilistisk 293f, 299  
reductio ad absurdum 264  
symbolisk 266  
logisk positivisme · *Se* positivisme  
logisk slutning 40f  
logos · *Se* fornuft  
loop quantum gravity 257  
Lorenz, Edward 288  
Lotka, Alfred 369, 383  
Louis, Pierre Charles Alexandre 222  
Lovelace, Ada 157  
Lovelock, James 354  
Lowell, Percival 366  
luft 23, 99, 106  
luftpumpe 106, 335  
lufttryk 99  
luftværnskanon 312  
lugtesans 363  
Lukasiewicz, Jan 295  
lungekræft 341  
Luther, Martin 74  
Lyceum 34, 38  
Lyell, Charles 185, 187  
lymfocyt 392f, 397  
lys 63, 106  
dobbeltspalteeksperiment 250  
hurtigere end 281  
infrarød 227  
refraktion af 101f  
sammensatte farver 106  
som bølger 140, 165, 180, 182, 250  
som elektromagnetisk stråling 226  
som partikler 106, 140, 234  
som trykfænomen 106  
ultraviolet 227, 365, 368  
usynligt 227  
lægebesøg 55  
lægekunst 47, 191  
lægevidenskab 169, 191, 295, 364  
lønmodtager 311
- ## M
- M-teori 257  
Mach, Ernst 317ff, 323  
magellansk sky 240  
magi 63, 71, 82  
magnet  
i hvile eller i bevægelse 229  
Jorden som 103  
magnetfelt 229  
magnetisme 108, 129, 146, 164ff, 181  
hos Mesmer 199  
Magritte, René 268, 294

- majs 358  
malaria 196  
Malthus, Thomas 189  
Mandelbrot, Benoit 289  
Manhattan-projekt 252f  
Mannheim, Karl 323, 327  
*Mann mit Radio (Homo sapiens)*  
    (Weinhold) 316  
Mantegna, Andrea 77  
Marconi, Guglielmo 410  
Marcus Aurelius 48  
Marey, Étienne-Jules 307  
*Margarita philosophica* (Reisch) 82  
Margulis, Lynn 372  
markedsøkonomi 150  
Mars 91, 102, 367, 368  
Martin, David Stone 304  
Marx, Karl 190  
masse 99, 232  
    hos Einstein 236  
    hos Newton 235  
massefylde af vand 100  
masseproduktion 74, 303, 310, 312f  
masseuddøen 384f, 387  
matematik 112, 261 · *Se også tal*  
    algebraisk 129  
    analytisk 381  
    apriori eksisterende 209  
    arabisk 57  
    formaliseringens grænser 261  
    formalisme 264, 267  
    graden af sværhed 282  
    i antikken 39  
    intuitionisme 264  
    i positivismen 163  
    i renæssancen 84  
    konstruktivisme 264, 337  
    logicisme 265  
    NP 283  
    skoler inden for 264  
som formel videnskab 169  
som logik 216  
som mekanisk proces 272  
som metode til erkendelse 98  
som naturbeskrivelse 106  
som praktisk problem 273  
som proportioner 43  
teleologisk 264  
udvikling af 18  
ufuldstændigheden af 268  
materialisme 127, 164, 166f, 201  
    monistisk 170  
    radikal 125  
*Matrix – Reloaded, The* (Wachowski)  
    286  
Maudslay, Henry 142  
de Maupertuis, Pierre Louis Moreau  
    126  
Max Planck-institut 323  
Maxwell, James Clerk 164ff, 177f,  
    181f, 225, 228f, 278  
Maxwells ligninger 229  
May, Robert 383  
maya-kultur 385  
Mayo, Elton 310f  
McClintock, Barbara 358  
*Mécanique Analytique* (Lagrange) 129  
medicin 197  
    arabisk 57  
    i middelalderen 78  
meme 358f  
Menabreas, Luigi Federico 157  
Mendel, Gregor 344ff, 350  
Mendelejev, Dimitrij 164f  
Mendes, Teixeira 302  
menneskerettighedskonventionen 348  
mennesket  
    hos Darwin 351  
    hos Freud 208  
    oprindelsen af 359

- racer 362  
 som irrationelt væsen 374  
 som magiker 82  
 som maskine 109, 292  
 som pattedyr 345  
 stamtræ 361  
 teori om 135  
 udviklingen af 190  
 Mercator, Gerardus 94, 96  
 Mercators projektion 96, 366  
 Merchant, Carolyn 337  
 Merkur 91, 236, 331  
 Merton, Robert King 323, 327, 329  
 Mesmer, Anton 199f  
 metafysik 66, 116, 131, 169, 325  
     hos Aristoteles 35  
 metal 146  
     som grundstof 134  
 metronom 322  
 de La Mettrie, Julien 130  
 Michelson, Albert 228  
 Michelson-Morley-eksperimentet 228  
*Micromegas* (Voltaire) 127  
 mikroorganismer 193ff, 199  
 mikroskop 102  
 Milgram, Stanley 412f  
 Mill, John Stuart 163, 169, 221, 319  
 Miller, Stanley 365  
 Miller-Urey-eksperiment 365  
 Ming-tiden 222  
 missing link 359, 361  
 mitokondrie 372  
 moderne syntese, den 344, 349  
*Moderne Tider* (Chaplin) 308  
 modulation 410  
 molekylærbiologi 344  
 moment 247, 279  
 monisme 170, 352  
 de Montbret, Antoine Jean  
     Cocquebert 173  
 Monty Hall-problem 298  
 Moore, Gordon 405  
 Moores lov 405  
 Moreno, Jacob 412  
 morfin 197  
 morfologi 360  
 Morgenstern, Oskar 373  
 Morley, Edward 228  
 mosaik 56  
 mp3 405, 411  
 Muir, John 353  
 multiregionale model, den 361  
 Mumford, Lewis 313  
 Museion 38  
 musik 27, 61  
 mutation 349f, 356, 358, 361, 363  
 mykenisk Grækenland 385  
 Müller, Paul Hermann 355  
 mytologi 22  
 Mælkevejen 239ff  
 mængdelære 214, 261ff, 272  
     som teleologisk matematik 264  
 mørnsterdannelse 287, 293, 370ff  
 mørnstergenkendelse 285  
 mørkt stof 240  
 måling 64, 131f  
     af tid 99  
     i kvantemekanik 246  
     med tal 210  
     skala for 99  
     som et virkelighedskriterie 85  
     subjektiv 130  
     uden teori 99  
 Månen 97, 104
- N**
- Nagel, Thomas 395  
 Napoleon Bonaparte 139ff  
 Napster 411  
 NASA 367f

- Nash, John 373  
 nationalism 143  
 naturalists · Se ioniske filosoffer  
 naturen 130, 137  
     besjælet 110  
     enhedsforståelse af 227  
     fraktal opbygning af 291  
     fredning af 354  
     holistisk syn på 352  
     hos Goethe 145  
     hos Newton 145  
     kunstig skabelse af 416  
     opfattelse i renæssancen 81  
     som energifelter 183  
     som maskine 108, 125, 130  
     som mekanisme 109, 114, 143,  
     146, 182  
     som musik 257  
     som organisme 108  
     som subjekt 146  
     statistisk beskrivelse 167  
     økologisk syn på 352  
 naturfilosofi 131, 145, 147  
*Naturfilosofiens matematiske principper*  
     (Newton) 88, 104f  
 naturlig selektion 184, 188f, 191, 344,  
     347, 356f, 361, 364, 377, 382  
*Naturlivets Grundlove* (Darwin) 190  
 naturlove 65, 105, 167, 190  
     i antikken 23, 32  
 Nautilus 141  
 navigation 59, 89  
 nazisme 327, 348  
 neandertaler 361  
 Nebukadnesar II 20  
 Neko II 20  
 de Nemore, Jordanus 70  
 neo-darwinisme 350f, 355f  
 neo-kantianisme 164, 318f, 325f  
 Neoteni-teorien 346  
 Neptun 22  
 netværk  
     autokatalytisk 372  
     galaktisk · Se internet  
     genetiske 381  
     idiotypisk teori 393  
     i hovedet 394  
     i kroppen 392  
     immunsystemet 392  
     kommunikative 391  
     kunstige neurale 295, 395, 403ff  
     lobby 415  
     neurale 285, 398, 404  
     selvorganiserende 369, 381, 387  
     sociale 412, 415  
     sprogets 389  
 Neue Sachlichkeit · Se ny saglighed  
 von Neumann, John 291ff, 373  
 Neurath, Otto 324  
 neuron 381, 392, 395, 397  
 neurose 201f  
 neurotransmittør 395  
 neutrino 256  
 neutron 251, 256  
 New Deal 309  
*New Experiments Physico-Mechanical*  
     (Boyle) 106  
 Newton, Isaac 72, 88, 103-106, 109,  
     117f, 125ff, 129, 135, 143ff, 147, 210,  
     225, 235ff, 265, 287, 299, 322, 331  
 Newtons love 104, 128  
 Newtons æble 105  
 Neyman, Jerzy 341  
 ngo 415  
 Nicolas af Oresme 70f  
 Nietzsche, Friedrich 216  
 nobelpris 234, 318, 355, 370  
 nomologiske maskiner 339  
 normanniske fyrrster 59  
*Novum Organum* (Bacon) 96

Nowak, Martin 389ff  
NP-problemer 283  
nukleotid 351, 365  
ny-platonisme 81, 83  
nymarxisme 332f  
Nürnberg-love 348  
ny saglighed 316f

## O

Oak Ridge National Laboratory 328  
obduktion 192  
objektivitet 108, 131, 136, 180, 223,  
333, 337, 396  
dualistisk opfattelse 113  
hos Demokrit 31  
opgivelse af 253  
observation 112, 131f, 170, 331  
astronomisk 99  
hos Galen 49  
hos Parmenides 25f  
i antikken 22  
i kvantemekanik 247f  
i middelalderen 71  
som metode 98, 101  
som modsiger Aristoteles 80  
subjektiv 130  
uden teori 97  
under den videnskabelige revolution  
89  
OECD (tidligere OEEC) 329  
offentlighed  
differentieret 414  
i middelalderen 74  
i oplysningen 127  
oktaeder 33  
Olympen 22  
*Om Arkitekturen* (Vitruvius) 51  
Omega 273  
omgivede omgivelser 417  
omvendt altruisme 375, 377

*On the Economy of Machinery and Manufactures* (Babbage) 155  
ontologi 253, 278, 317  
kontra epistemologi 280, 294, 299  
operation 191, 197  
ophavsret 411f  
opium 58, 191, 197  
oplysningsstiden 125, 134, 138f, 143,  
148, 161, 326  
optik 63f, 97  
geometrisk 161  
*Optik* (Newton) 106  
*Optikkens bog* (Alhazen) 63  
optimering 403  
optimisme 127  
*Opus chirurgicum* (Paracelsus) 197  
Ordem e Progresso 302  
ordinaltal 215  
Orgueil-nedslaget 368  
*Origin of Species by Means of Natural Selection, The* (Darwin) 190, 343  
van Orman Quine, Willard 334  
Oscar II 287  
overfaldshjul 132, 134

## P

p2p 411  
Pacioli, Luca 84  
palæoantropologi 359  
palæobiologi 344  
pangenese 344  
da Panicale, Masolino 86  
papyrus 17, 20, 38  
Papyrus Rhind 20  
Paracelsus (Theophrastus Bombastus  
von Hohenheim) 197  
paradigme 331-335  
paradoks 261, 269, 295  
barber- 264, 296  
hos Cantor 263

- hos Magritte 268  
 hos Russell 215, 264  
 hos Zenon 25f  
 i kvantemekanik 248, 280  
 i logik 296  
 i østlig filosofi 296  
 løgner- 268  
 statistisk 298  
 parallakse 102f, 128  
 paralleluniverser 254  
 Parmenides 25f, 29ff, 295  
 partikel-bølge-dualitet 247, 250
  - Se også atom
 Pascal, Blaise 99, 119ff, 127  
 Pask, Gordon 402f  
 Pasteur, Louis 167, 193ff  
 pasteurisering 194  
 Peano, Giuseppe 265  
 Pearson, Egon Sharpe 341  
 Pearson, Karl 339  
 peer review 327, 416  
 Peierls, Rudolf 252  
 Peintner, Max 354  
 Pekingmanden 359  
 pendul 100  
 Penrose, Roger 56  
 Penzias, Arno 240  
 perception 204, 207  
 perceptron 404  
 perfekte polyedre
  - Se platoniske legemer
 periodiske system, det 164f, 239, 244  
 Perrin, Jean Baptiste 233f  
 pest 191f  
 pesticid 355  
 pharynx 346  
*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Newton) 88, 104f  
*Philosophie Zoologique* (Lamarck) 187  
 phlogiston 132, 134  
 Physical Review, The 251  
 physis 32  
 Pierce, Charles Sanders 164  
 piktogram 17f, 324  
 Pimm, Stuart 387  
 Pinel, Philippe 200  
 Pinker, Steven 359, 391  
 pistol 305  
 Planck, Max 226f, 234, 243, 245, 317f, 333  
 Plancks konstant 247f, 285  
*Plantesamfund* (Warming) 353  
 Planudes, Maximus 17  
 planøkonomi 315  
 plasticitet 356f  
 Platon 33-37, 42ff, 50, 74, 78f, 81
  - akademi 38, 42, 55
  - dialoger 55
  - kosmologi 33f
 platoniske legemer 33  
 plov 57f  
 plutonium 252  
 Podolsky, Boris 279  
 Poincaré, Henri 263, 265, 287f, 302  
 polaritet 144  
 Polo, Marco 59  
 polycykiske aromatiske hydrokarboner 367  
 Pomponazzi, Pietro 83  
 Popper, Karl 314, 329-334, 338  
 populationsdynamik 287  
 populationsgenetik 350  
 positionssystem 67f  
 positivisme 163, 166-170, 220, 223, 302, 315, 318f
  - i Brasilien 302
  - logisk 316, 318, 323ff, 329f, 336, 340
  - som radikal empirisme 169
 positron 251, 256

- postmodernisme 333, 337  
Presley, Elvis 413  
Prigogine, Ilya 370  
primære egenskaber 116  
primærprocesser 209  
primærproduktion 387  
*Principia Mathematica* (Newton) 88, 104f  
*Principia Mathematica* (Russel og Whitehead) 266  
*Principles of Geology* (Lyell) 185  
prisme 143  
produktivitet 155f, 306f, 312  
profit 156  
Projekt Cybersyn 315  
projektion  
lys 322  
Mercators · Se Mercators projektion  
plan 64  
protein 351, 362f, 368, 381  
foldning 285  
proton 251, 256  
Proust, Joseph Louis 139  
præbiotisk pizza 366  
præimplantationsdiagnostik 349  
psykiatri 201  
psykoanalyse 208f, 260  
psykofysik 204  
psykologi 199, 204ff, 416  
evolutionær 377, 389  
Gestalt- 206  
kognitiv 415  
love for 206  
psykologiske temperamenter 31, 48f, 204  
psykoterapi 204, 208f  
Ptolemaios 17, 38, 44-47, 55, 65, 71, 78f, 86  
kosmologi 44ff, 79, 102  
verdenskort 46  
puritanisme 327  
Pythagoras 25ff  
Pythagoras' sætning 26, 28, 99, 211  
bevist af Euklid 40  
påfugl 377  
Påskeøerne 413
- Q**
- quadriuum 61  
qualia 396  
quark 256  
quaternioner 211  
qubit 278, 281
- R**
- racehygiejne 260, 345, 348f  
radar 312, 322, 328  
radio 165, 184, 225, 303, 316  
radioaktivitet · Se stråling  
radiobølge 227, 410  
radiotelegrafi 165  
rationalisme 112f  
kritisk 331  
reagensglasbarn 349  
realpolitik 309  
reductio ad absurdum 264  
reduktionisme 146, 164, 379, 382  
reformationen 77  
refraktionsindeks 102  
regnbue 65, 101  
regnemaskine 51, 270, 273  
Reisch, Gregor 82  
rekapitulationsteori 345f  
relativitetsprincippet  
· Se invariansprincippet  
relativitetsteori 229, 232, 234, 254f, 257, 280, 321  
den generelle 235, 237, 241  
religion 18, 57, 65, 143, 223  
religionskrige 77

- religionssvidenskab 223  
renæssansen 77ff, 108  
repræsentation  
    af viden 281  
    digital 276  
    fotografiet 151  
    illustrationer 96  
    med billeder 17  
    med regnskaber 85  
    som en del af måling 294  
    ved hjælp af tal 83  
resistens 358  
respiration 351  
retfærdighed 386  
retorik 61  
    hos Aristoteles 34  
    i middelalderen 65  
reversibilitet 177  
revolution  
    Chiles socialistiske 315  
    den engelske 89  
    den franske 89, 129, 139, 148  
    den industrielle 139, 142  
    den videnskabelige 332, 334  
    kopernikansk 331f  
    videnskabelig 88  
Ricardo, David 153  
Richard, Jules 264  
Richterskala 388  
RNA 351, 368  
romantikken 63  
romerrettet 60  
Romerriget 55  
romertal 19  
Roosevelt, Franklin D. 309  
Rosen, Nathan 279  
Rosenblatt, Frank 404  
Royal Society, The 236, 335  
Rubin, Edgar 207  
von Rumford, Graf 142, 158, 175  
rumtid 235ff, 269  
Russell, Bertrand 215, 219f, 261, 263f, 266f, 294  
Rutherford, Ernest 242f  
Rømer, Ole 230  
røntgenstråler · *Se stråling*  
Röntgen, Wilhelm 225
- S**
- samarbejde 372f, 375f, 378, 390  
samlebåndsarbejde 309, 311  
samtidighed 230, 235f  
*Sand County Almanac, A* (Leopold) 354  
Sande, Det 217  
sandsynlighed 119ff, 167, 254, 274, 277  
    algoritmisk 289  
    bayesiansk 297, 315  
    betinget 297f  
    hos Fisher 340  
    i kvantemekanik 248  
    som objektiv egenskab 180  
    udregning af 121f  
sangvinsk 204  
sansning, hos Hume 135  
de Saussure, Ferdinand 391  
Scheler, Max 323, 327  
Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph 146, 149  
Schiaparelli, Giovanni 367  
Schleiermacher, Friedrich 149  
Schopenhauer, Arthur 265  
Schrödinger, Erwin 244, 247, 279  
Schrödinger-ligningen 247  
Schütz, Alfred 326f  
*Science – the endless frontier* (Vannevar) 328  
scientific management 301, 305, 307  
scientisme 138  
sedimentering 141  
segment-duplikation 363  
sekundære egenskaber 116

- selektionsteori, den naturlige 392  
selvet 235f  
selv-similaritet 290f  
selvorganisering 368f, 372, 383,  
    389, 402f  
semantiske trekant, den 218  
semiotik 392  
serotonin 395  
Shaffer, Simon 335  
Shannon, Claude Elwood 275f, 278,  
    289, 299  
Shannon-entropi · Se entropi  
Shapin, Steven 335  
*Siderius Nuncius* (Galilei) 97  
Simmel, Georg 326  
simulation 287  
sindssygdom 200, 208  
Six Degrees of Kevin Bacon Game 413  
Six Degrees of Separation 412f  
sjæl 109  
    og krop · Se dualisme  
    videnskabeligt bevis for 204  
skat 18, 20, 304  
Skeptic Magazine 358  
skepticisme 32f, 112, 127  
    organiseret 327  
skjulte variable 254  
skriftspråk  
    alfabetisering af 18  
    fonetisk baseret 20  
    udvikling af 17-20  
    udvikling af alfabet 17, 20  
skrivere 62  
slaveri 53, 151  
Small is Beautiful 314  
Smeaton, John 132, 134  
Smith, Adam 131, 140, 152-155, 307  
Snel, Willebrord 102  
Snels lov 102  
socialisme 312  
socialkonstruktivisme 336, 338, 340  
*Sociobiology* (Wilson) 377  
sociogram 412  
sociologi 327  
sofisterne 32  
software 271  
Sokrates 33, 35  
solformørkelse 236, 331  
soliton 395  
Solomonoff, Ray 289  
solsystem 104, 130, 287  
solar 27  
sommerfugleeffekt 288  
sommersolhverv 44  
sort-dråbe effekt 128  
sortering 282  
sort hul 237  
specialisering 152f  
spejlneuron · Se neuron  
spektrum  
    farve- 143  
    for brint 243, 246  
Spencer, Herbert 259, 353  
Spengler, Oswald 260  
spilteori 373f, 379, 405  
spindemaskinen 150  
Spinoza, Baruch 114  
spiritus 72  
sprog  
    hos Freud 207  
    som vejen til erkendelse 113  
    teori for 324  
sprogfilosofi 218  
sproglige vending, den 216, 220  
stamtræ 187f, 361  
*Staten* (Platon) 34  
statistik 122, 222  
statistisk mekanik 179  
statistisk signifikans 338  
steady state-teori 240

- Steffens, Henrik 149  
 sterilisation 191, 347f  
 sterilitet 193  
 Sterling, Bruce 159  
 stjerner, klassifikation af 238  
 stjernetåger 240  
 stop-problem 272f  
 storbyer 150  
 store tals lov, de 122  
 Storzimbabwe 385  
 Strassman, Fritz 251  
 strøm 229  
 stråling  
     elektromagnetisk 226, 253  
     fra sorte legemer 226  
     gamma- 227  
     mikrobølge- 240  
     radioaktiv 225  
     røntgen- 225, 227, 245  
     ultraviolet 227  
     varme- 226f  
 studenteroprøret 314, 332  
 Sturm und Drang 143  
 støbejern 142  
 stål 142, 150f, 303  
 subjekt-prædikatsætninger 65  
 subjektet 325, 394  
     hos Descartes 130  
     hos Kant 145  
         i renæssancen 87  
 subjektiv idealisme 145  
 subjektivitet 335, 396  
     dualistisk opfattelse 113  
     hos Demokrit 31f  
     hos Descartes 115  
     i erkendelsen 125  
     i observation 254  
     mht. entropi 277  
     som nødvendig betingelse 136  
     videnskabelig relevant 146  
 suggestion · Se hypnose  
 Sullivan, Louis 317  
*Summa de Arithmeticā, Geometriā, Proportioni et Proportionalitā*  
     (Pacioli) 84  
 sundhedsvæsen 160  
 Sung-tiden 222  
 supernova 239  
 superposition 281  
 superstrenge 257  
*Sur la figure de la terre*  
     (de Maupertuis) 126  
 surrealisme 209  
*Surroundings Surrounded*  
     (Eliasson) 416  
 survival of the fittest 259  
 svovlkiskrystaller 366  
 sygdom 192f, 198  
 sygehuse 192  
 syllogisme 34f, 41  
 symaskine 303, 305  
 symbiose 372f  
 symbol-manipulation 313  
 symmetri  
     i Maxwells teori 166  
     i relativitetsteori 232  
     mellem perspektiver 228  
     som ideal 86  
 synaps 395  
 syndflod 185  
     generaliseret hypotese 141  
*Synsoplevede Figurer* (Rubin) 207  
 syntaks 390  
 syntese  
     hos Kant 138  
     som induktion 170  
 synåle 155  
 systemer  
     adaptive 368  
     dynamiske 344, 369, 371, 389

ikke-lineære 287, 289f, 295  
komplekse 322, 369, 381ff  
*System of Logic, A* (Mill) 221  
systemteori 323  
sæbe 196  
såsæd 57

## T

taksonomi 140, 350  
tal 389  
abstrakte 18  
addition 68  
alfabetisering af 67  
algebra 68  
arabisk system 57, 67  
beregning af brøk 20  
definition af 214  
division 68  
enhedsbrøk 20  
forståelse af 209  
hele 262  
hos Eudoxos 43  
ikke-beregneligt 273  
irrationalt 211, 213f  
komplekse 211  
kompleksitet af 273  
konkret tælling 17  
lertal 18  
multiplikation 20, 68  
multiplikation hos Heisenberg 247  
naturlige 214, 262f  
Omega 273  
rationelle 214, 262  
reelle 211, 213f, 262f  
som forholdet mellem to størrelser  
27f  
som grænseværdi 212f  
som klasser 217  
som matrix 211  
som vektor 211

systemer 19, 67  
tilfældigt 273  
transcendentale 262  
udvikling af 20  
uendelig brøk 27  
uendeligt mange 212  
talesprog  
oprindelsen af 389  
udvikling af alfabet 389  
*Talmud* 373  
talmystik 28  
tankeeksperiment 104, 321  
    hos Bohr 254  
    hos Galilei 101  
    i kvantemekanik 254  
Tarski, Alfred 295, 330  
Tauber, Alfred 394  
Taylor, Frederick W. 305-310  
taylorisme 301, 308  
tekniske højskoler 160  
tektoniske plader 416  
telefon 165, 184, 276, 303, 409  
telegraf 303  
teleologi 31, 36, 66, 188  
teleportation 280  
temperamenter  
    · Se psykologiske temperamenter  
temperatur 99, 176, 227, 233, 277, 299  
    måling af 100  
    som stråling 226  
Teofrast 47  
teologi 60, 65, 223, 351  
teori  
    elektromagnetisk 225  
    forkastning af 222  
    for måling 99  
    hos Galen 49  
    i antikken 23, 29  
    kinetisk 177f  
    steady state 240

- teriak 191  
termodynamik 164, 167f, 225, 276f,  
369  
anden lov 177f, 260  
klassisk 233  
ligevægt 369  
statistisk 233  
termometer 99f, 275  
termoskop 100, 275  
tertium non datur 264f, 269, 295  
Tesla, Nikola 409f  
*Tetrabiblos* (Ptolemaios) 46  
tetraeder 33  
Thales 22ff, 256  
kosmologi 23  
*Theatrum Orbis Terrarum* (Ortelius) 94  
Theory Of Everything · Se TOE  
Thomas Aquinas 66, 77f, 372  
Thomson, Joseph John 225, 236  
Thukydid 32  
Tiberius Claudius Babillus 39  
tilfældighed 120ff, 167, 179, 222,  
262, 273f, 340  
som manglende viden 293  
*Timaios* (Platon) 33, 43  
tit for tat 376  
tiwanaku 385  
tjærebade 191  
TOE – Theory Of Everything 253  
tomme mængde, den 215  
tomme rum, det 30f, 99, 106, 117, 136,  
165, 225f  
Tooby, John 377  
trafikprop 388  
tragedy of the commons, the 385  
*Traité Élémentaire de Chimie*  
(Lavoisier) 130  
transberegnelighed 285  
transistor 281, 405f  
transposon 358  
tredje øje 115  
treeenheden 114  
trelegemeproblemet 287  
trigonometri 44, 46  
trilobit 384  
Trivers, Robert 375, 377  
trivium 61  
tryk 99, 106, 178, 233  
trædemølle 174  
tuberkulose 55, 194, 196  
turbulens 287  
Turing, Alan 262, 268, 270, 272f, 275f,  
282, 291ff, 370, 372  
Turingmaskine 270ff, 291f  
Turingstruktur 371f  
Turingtest 402  
tv 184, 225  
tvangssterilisation 260, 348  
tværvidenskab 368  
tyfus 196  
tyngdekraft 105

## U

- ubevidste, det 208, 260  
ubåd 141  
udviklingsteori · Se evolution  
uendelighed, grader af 263  
uforudsigelighed 291  
ufuldstændighed 274  
hos Turing 270  
Ulam, Stanislav 291  
ultimatumspillet 378  
underfaldshjul 134  
uniformitaristisk teori 185  
Universal Grammar 391  
universalisme 327  
universet 237  
alder 240  
ekspansion af 240, 242  
inflationsmodel 240

- regnekapacitet 285  
 som ballon 242  
 som beregning 293  
 som laptop 284  
 som program 291  
 universitet 149  
     Berlin 318  
     Bologna 63  
     Freiburg 325  
     Harvard 328  
     i middelalderen 60f, 74  
     Königsberg 149  
     Montpellier 63  
     Oxford 63  
     Padova 93  
     Paris 63  
     Salamanca 63  
     som læreanstalt 148  
 ur 58, 99f  
 uran 251f  
 Urey, Harold 365  
 urinstof 166  
 urstof 23f  
 ursuppeteori 365  
 usikkerhed 275
- V**
- vaccination 194f, 197  
 vakuum 106, 240  
 vand 23  
     massefylde 100  
 vandhjul 134, 174  
 vandmølle 57f, 132  
 variation 185, 188ff, 356, 369  
 varme 129, 140, 142, 174  
     bevarelse af 175  
     effektive maskiner 160  
     idealmaskine 159  
     med væskeegenskaber 175  
     mekanisk teori 164, 175f
- som stof 151, 160  
 teori for 142  
 varmedød 177f, 260, 293  
 varmefylde 226  
 varmestråling · *Se stråling*  
 Varro, Marcus Terentius 50  
 velfærdspolitik 348  
 velfærdssamfund 309  
 vene 111  
 Venus 91, 97, 128  
 verdensatlas · *Se atlas*  
 Verdensbanken 387  
*Verdensgåderne* (Haeckel) 170  
 verifikation 324  
 Verne, Jules 320  
 Versailles 320  
 Verschränkung 279  
 Vesalius, Andreas 77, 93, 96  
 victorianisme 168, 170  
 viden  
     kontra uvidenhed 299  
     legitimering af 106  
     opdeling af 122  
     sikker 170  
     som forvrænget uvidenhed 299
- videnskab  
     og religion 302  
     som aristokrati 148f  
     som erstatning for religion 170  
     som institution 89  
     som metafysik 131  
     som nyttig idiot 418  
     tredeling af 169  
 videnskabelige metode, den 106, 131,  
     138, 170, 173, 221, 223, 336, 382  
     hos Fisher 339  
     mht. livet 167  
     måling 98  
     årsag 109  
 videnskabelige revolution, den 117, 223

- Videnskabens revolutioner* (Kuhn) 331  
 videnskabsfilosofi 317, 319, 337  
 videnskabsjournalistik 418  
 videnskabssociologi 323  
 videnssamfundet 409  
 Viking 368  
 vin 72, 194  
 vindmølle 58  
 Virchow, Rudolf 193  
 vitalisme 167, 265, 351, 355  
     hos Galen 49  
     i middelalderen 80  
*Vitruvianske Mand, Den* (da Vinci) 77  
 Vitruvius 51f  
 Volta, Alessandro 140, 180  
 de Voltaire, François 125-128, 191  
 Voltasøjlen 181  
 Volterra, Vito 383  
 vægt 99  
 vævemaskine 150
- W**
- Waddington, Conrad 356  
 Wagner, Richard 345  
 Wallace, Alfred Russell 189  
 Waltham Abbey 132  
 Wannsee-konferencen 347  
 Warming, Eugen 353  
 Watson, James Dewey 350  
 Watt, James 150  
*Weather Project, The* (Eliasson) 416  
 Weber, Max 326  
 Wegener, Alfred 416  
 Weinberg, Alvin 328  
 Weinberg, Wilhelm 350  
 Weinhold, Kurt 316  
 Weismann, August 344  
 von Weizäcker, Carl 239  
 Wells, Herbert George 368  
 Western Electric 310f
- What is it like to be a Bat?* (Nagel) 395  
 Wheeler, John Archibald 251  
 Whewell, William 319  
 Whitehead, Alfred North 264, 266f  
 Wiener-kredsen 323f  
 Wigner, Eugene 261  
 wiki 409, 411  
 William fra Ockham 77  
 Wilson, Allan 360  
 Wilson, Edward Osborne 377  
 Wilson, Robert Woodrow 240  
 Wittgenstein, Ludwig 220, 336f  
 Woolgar, Steve 336  
 Wright, Sewall 350  
 Wundt, Wilhelm 205  
 Wächtershäuser, Günther 366  
 Wöhler, Friedrich 166
- Y**
- yin og yang 248  
 Young, Thomas 140, 182f, 250
- Z**
- Zadeh, Lotfi 295  
 Zenon 25f, 29  
 Zeus 21  
 ZFC-teori 215
- Æ**
- ærteforsøg, Mendels 345, 350  
 æstetik  
     industriel 317  
     som videnskab 204  
 æter  
     hos Aristoteles 31, 36  
     hos Einstein 229, 232  
     i elektromagnetisk teori 182f  
     i Michelson-Morley-eksperiment 228  
     måling af 228

## Ø

- økologi 352f
- økonomi 152
  - kapitalistisk 156
- økosystem 382, 387
- øl 194
- ørkendannelse 386
- Ørsted, Hans Christian 165, 181

## Å

- åreladning 191, 200, 222
- årsag 122, 169
  - efficient 66
- kritik af begrebet 135
- og virkning 135
- oprindelig 109